



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

SÄHKÖASEMAN RELESANEERAUS

Parikkalan Valo Oy – Punkasalmen sähköasema

TEKIJÄ: Vesa Naukkarinen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Sähkötekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä Vesa Naukkarinen	
Työn nimi Sähköaseman relesaneeraus	
Päiväys 27.9.2018	Sivumäärä/Liitteet 62/5
Ohjaajat Yliopettaja Juhani Rouvali, Lehtori Timo Savallampi, Verkkopäällikkö Olli Mattila	
Toimeksiantaja Parikkalan Valo Oy	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tässä opinnäytetyössä on selvitetty Punkasalmen 110/20 kV sähköaseman nykytila ja saneeraustarve toisiolaitetasolla, keskittyen sähköverkon suojareleisiin ja johtolähtöjen suojaukseen. Työn tilaaja on Parikkalan Valo Oy.</p> <p>Saneeraustarpeen ja halutun toiminnallisuuden perusteella määritettiin saneerauksen laajuus, sekä suoritettiin suojauslaskenta keskittyen keskijännitelähtöjen tarpeisiin. Kaikki laskenta tehtiin Excel-taulukkolaskentaohjelmalla ja saatuja tuloksia verrattiin verkkotietojärjestelmän antamiin laskentatuloksiin. Lisäksi työssä on esitelty sähköasemiin ja sähköasema-automaatioon liittyvää teoriaa sekä pohdittu relesuojauksen tulevaisuuden suuntaa.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena on tämän raportin muodossa oleva saneeraussuunnitelma ja tarjouspyyntömateriaali, jonka tarkoituksena on helpottaa saneerausprojektin kilpailutusta, tarjouksien laskentaa sekä projektin aloittamista ja toteutusta. Projekti on suunniteltu toteutettavaksi vuoden 2019 aikana.</p>	
Avainsanat Sähköasema, suojarele, saneeraus, sähköverkko, suojauslaskenta, suunnitelma	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering			
Author Vesa Naukkarinen			
Title of Thesis Modernization of Protective Relays in an Electrical Substation			
Date	27. September 2018	Pages/Appendices	62/5
Supervisors Mr. Juhani Rouvali, Principal Lecturer, Mr. Timo Savallampi, Senior Lecturer, Mr. Olli Mattila, Operation Manager			
Client Organisation Parikkalan Valo Oy			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this thesis was to investigate the present state of the 20/110 kV electric substation in Punkasalmi and to decide the need for modernization of the secondary equipment focusing on the needs of protective relays and medium voltage feeders. The thesis was commissioned by Parikkalan Valo Oy.</p> <p>The extent of the modernization program was defined by the state of the equipment and the needed functionality of the substation. The calculation of settings for the protective relays was also performed focusing on the needs of medium voltage feeders. All calculations were done using the Excel spreadsheet program and the results were compared to the calculations of the network information system. In addition, this work introduces basic theory about substations and substation automation and discuss the future of protective relays.</p> <p>The result of this thesis is this report as a plan for modernization and a material package for bidding competition, offer calculation and general project management. The modernization project has been planned to be executed in 2019.</p>			
<p>Keywords</p> <p>Substation, protective relay, modernization, electric network, calculation for protective relays, plan</p>			

ESIPUHE

Tässä opinnäytetyössä on perehdytty sähköaseman relesuojauksen saneerausprosessiin. Työ toteutettiin Parikkalan Valo Oy:n tilauksesta ja työskentelin sen parissa kesän 2018 aikana. Toivon, että tästä opinnäytetyöstä on apua Punkasalmen sähköaseman relesuojausta toteutettaessa ja mahdollisesti myös muiden vastaavien projektien suunnittelussa.

Haluan kiittää Parikkalan Valo Oy:ta erinomaisesta opinnäytetyön aiheesta, sekä kaikesta siitä vuosien aikana saamastani kokemuksesta ja tietotaidosta, jota työskentely yhtiössä on minulle tarjonnut. Erityiskiitos kuuluu myös työni ohjaajille yliopettaja Juhani Rouvalille, sekä käyttöpäällikkö Olli Mattilalle, jotka opetuksella ja neuvoillaan mahdollistivat tämän opinnäytetyön viemisen maaliin asti. Haluan kiittää myös sähköasentaja Sakari Tiaista, jonka tarkka tuntemus Punkasalmen sähköaseman tekniikasta ja sen historiasta on ollut käytettävissäni.

Parikkalassa 27.9.2018

Vesa Naukkarinen

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	8
1.1	Parikkalan Valo Oy	8
1.2	ABB Oy	8
1.3	Arcmaq Oy	8
1.4	Parikkalan Valo Oy:n sähköasemat	9
1.5	Kohteen valinta	9
1.6	Lyhenteet ja määritelmät	9
2	SÄHKÖASEMA	10
2.1	Katkaisija	10
2.2	Eroin	11
2.3	Muuntaja	11
2.4	Mittamuuntajat	12
2.5	Suojareleet	12
2.6	IEC 61850	13
3	PUNKASALMEN SÄHKÖASEMAN NYKYTILANNE	14
3.1	Käytössä oleva laitteisto	15
3.1.1	Strömberg SPAJ 3C5 J3 -ylivirtarele	16
3.1.2	Strömberg SPAS 1F1 J3 -maasulkurele	16
3.1.3	Strömberg SPAT 2D200 J3 -jälleenkytkentärele	16
3.1.4	ABB REF541 ja REF543 -kennotermiinit	17
3.1.5	Strömberg SPAU 3F100 J3, SPAU 1G100 J3 ja SPAU 1K100 J3 -jännitereleet	17
3.1.6	ABB REJ525 -ylivirta- ja maasulkurele	17
3.1.7	VAMP 220 -valokaarisuoja	18
3.1.8	VAMP 3 AX 5 -valokaarisuoja	18
3.1.9	Kuumic KU2000 Protocol Master ja KU114 protokollamuuntimet	18
3.1.10	SPOC-tiedonsiirtoyksikkö	19
3.1.11	Telemerkki TIC-110/40E -hälytyskeskus	19
3.1.12	SPA-automaatioväylä	19
3.1.13	Strömberg OSAM 24 P 2 -vähäöljykatkaisija	20
3.1.14	Alstom ECA 24-20-06-27 -tyhjökatkaisija	20
4	RELESUOJAUS SÄHKÖASEMALLA	21

4.1	Selektiivisyys	21
4.2	Keskijännitelähtöjen suojaus.....	22
4.2.1	Oikosulku	22
4.2.2	Terminen kesto ja jälleenkytkentä	27
4.2.3	Maasulku	31
4.2.4	Valokaari	38
4.3	Yli- ja alijännite.....	39
4.4	Muuntajasuojaus.....	39
4.4.1	Ylivirtasuojaus.....	39
4.4.2	Differentiaalisuojaus	40
4.4.3	Maasulku	42
4.4.4	Jännite	42
4.4.5	Kaasurele	43
4.4.6	Virtaus- ja painereleet	43
4.4.7	Lämpötilan valvonta	43
5	SANEERAUSSUUNNITELMA	45
5.1	Tavoitteet.....	45
5.2	Ratkaisu ABB:n laitteilla.....	45
5.3	Ratkaisu Arcteqin laitteilla.....	46
5.4	Kennoterminaalit.....	46
5.5	Häiriötallenteet	47
5.6	Valokaarisuojaus.....	48
5.7	Muuntajaöljyn kunnon jatkuva tarkkailu	49
5.8	Laitteiden elinkaarimalli ja ennakkohuolto.....	50
5.9	Saneerauksen ajankohta ja työvaiheet	51
5.10	Saneeraussuunnitelman yhteenveto	53
6	POHDINTA.....	55
6.1	Relesaneerauksen hyödyt.....	55
6.2	Relesuojaus tulevaisuudessa.....	55
6.2.1	Digitaalinen sähköasema	56
6.2.2	Keskitetty suojaus	57
6.2.3	Pidemmälle viety integraatio	57
7	YHTEENVETO.....	59

7.1	Tehtävänanto ja tavoitteet	59
7.2	Työn suorittaminen	59
7.3	Lopputulokset.....	59
8	LÄHDELUETTELO.....	60
	LIITE 1: YLIVIRTA-ASETTELUIDEN VERTAILU.....	63
	LIITE 2: SUOJARELEIDEN TOIMINTATARKKUUDEN VERTAILU	66

1 JOHDANTO

Suojareletekniikka on kehittynyt valtavasti harppauksin viimeisen 40 vuoden aikana. Siinä missä aiemmin erilaisiin suojaustoimintoihin vaadittiin erillinen laite jokaista erilaista suojaustoimintoa varten, pystyy nykyaikainen kennotermiinali hoitamaan yksin kaikki tarvittavat suojausfunktiot, mitä erilaisimmissa käyttökohteissa ja tilanteissa. Samaan aikaan kennotermiinalit myös toimivat kehittyneinä ohjaus- ja mittalaitteina verkottumalla muihin sähköasema-automaation laitteisiin, sekä sähkönjakeluyhtiön kaukokäyttöjärjestelmään. Nykyaikaiset ohjelmoitavat suojalaitteet luovat myös pohjaa sellaisten uusien ominaisuuksien käyttöönotolle, jotka eivät vanhalla laitekannalla olisi olleet mahdollisia.

Tämä tekninen kehitys yhdistettynä sähköasemien vanhenevaan ja vikaantuvaan laitekantaan saa aikaan tarpeen suojareleiden saneeraukselle. Saneerauksen avulla sähkönsiirron luotettavuus sekä sähköverkon käytettävyys paranevat ja pienenevä toisilaitetekanta yksinkertaistaa sähköaseman ylläpitoa.

1.1 Parikkalan Valo Oy

Parikkalan Valo Oy on Itä-Suomessa toimiva, 1936 perustettu maaseudun sähköverkkoyhtiö, jolla on 9986 sähkönsiirron asiakasta. Liikevaihto on noin 10,5 milj. €, josta sähkönsiirron osuus on 6,2 milj. € ja sähkömyynnin osuus 4,3 milj. €. Keskijännitejohtoja ja -kaapeleita on yhteensä 893 km ja pienjännitejohtoja ja -kaapeleita 1697 km. Kaapelointiaste keskijännitteellä on 10,3 % ja pienjännitteellä 53,0 %. 110/20 kV sähköasemia on kolme ja niissä on yhteensä neljä päämuuntajaa. (Parikkalan Valo Oy, 2018, ss. 5-11)

1.2 ABB Oy

ABB on syntynyt 1988 ASEA:n ja BBC fuusiosta ja ABB Oy on tämän teollisuuskonsernin suomalainen tytäryhtiö. ABB:llä on vahva jalansija Suomessa Oy Strömberg Ab:n ansiosta, joka oli fuusioheikellä ASEA:n omistuksessa. ABB Oy toimii Suomessa 20 paikkakunnalla ja työllistää noin 5300 henkilöä. Yhtiön liikevaihto on noin 2,3 miljardia euroa ja liiketoiminta keskittyy sähköverkkotekniikkaan, automaatioon sekä merenkulkuun. Emoyhtiö toimii yli 100 maassa, työllistää 147000 henkilöä ja sen liikevaihto on noin 34 miljardia euroa. (ABB Oy, 2014) (ABB Oy, 2018b)

1.3 Arcteq Oy

Arcteq Oy on vuonna 2010 perustettu, täysin suomalaisessa omistuksessa oleva yritys, joka suunnittelee ja valmistaa sähköverkon suoja- ja mittalaitteita. Yhtiön päätuotteita ovat sähköverkon suojareleet ja valokaarisuojalaitteet. Yritys työllistää Suomessa noin 20 henkilöä ja sen liikevaihto on noin 5 miljoonaa euroa. Vuoden 2017 aikana Arcteq on toimittanut 8000 laitetta asiakkaille ja vuodelle 2018 määrän uskotaan nousevan 15000 laitteeseen. (Arcteq Oy, 2013) (Arcteq Oy, 2018)

1.4 Parikkalan Valo Oy:n sähköasemat

Yhtiön kaikki kolme sähköasemaa on rakennettu 1970- ja 1980-luvuilla ja niiden nimet ovat Särkisalmi, Punkasalmi ja Änkilä. Änkilän aseman keskijännitteen primääri- ja sekundäärikojeisto suoja-relineen on uusittu vuonna 2013 ABB:n VD4-tyhjökatkaisimilla ja Relion-sarjan suoja-releillä.

Särkisalmen sähköaseman relesuojauksessa on keskijännitelähdöillä käytetty ABB:n REF541-suoja-releitä. Muuntajasuojauksessa, sekä jännitemittauksessa puolestaan ABB:n vanhempia SPACOM-sarjan suoja-releitä. Sähköasemalla on käytössä kaksikiskojärjestelmä ja viimeisin saneeraus on tehty 1998, jolloin keskijännitelähtöjen suoja-releet ja katkaisijat on vaihdettu. Maasulun sammutuskuristin on lisätty asemalle vuonna 2006 ja sitä on ohjaamassa Trench Austria GmbH:n EFC20-säätäjä.

Punkasalmen sähköasema on rakennettu 1985 ja suurin osa kojeista ja releistä on alkuperäisiä. Ensimmäisen 110/20 kV päämuuntajan syöttämän syöttökiskoston releistykseenä on yhtä REF541-releellä suojattua keskijännitelähtöä lukuun ottamatta Strömberg Oy:n staattiset suoja-releet. Sähköasemaa on laajennettu 2001 toisella 110/20 kV päämuuntajalla, joka syöttää yhden keskijännitelähdön kautta lähellä olevaa kertopuu- ja vaneritehdasta. Tämän laajennuksen suoja-releinä on käytetty REF541-releitä. Sähköaseman syöttämä keskijänniteverkko on maasta erotettu.

1.5 Kohteen valinta

Parikkalan Valo Oy:llä on tarve saneerata sekä Särkisalmen että Punkasalmen sähköasemien suoja-releet lähitulevaisuudessa. Lisäksi Punkasalmen katkaisijat ovat vanhoja Strömbergin OSAM-väähölykatkaisijoita, joiden tuki päättyy vuoden 2018 loppuun mennessä. Kummallakin asemalla on lisäksi kojeiston vanhenemisesta ja vikaantumisesta johtuvia epämääräisiä puutteita esimerkiksi mittaus- ja hälytystiedoissa sekä jopa suojauksessa. Lisäksi kummassakin tapauksessa sähköasema-automaation tietoliikenneväylinä toimii nykyisiin ratkaisuihin verrattuna vikaheikkä ja melko hidas SPA-väylä.

Tämän työn puitteissa suunniteltavan suoja-releiden saneerauksen kohteeksi valittiin Punkasalmen sähköasema. Valintaa perusteltiin seuraavin seikoin:

1. Aseman tekniikka on vanhempaa ja kirjavampaa
2. Myös katkaisijat uusitaan lähitulevaisuudessa
3. Sähköaseman toimivuus on kriittinen läheisen tehtaan sähkönsyötön turvaamisessa

1.6 Lyhenteet ja määritelmät

GOOSE (General Object Oriented Substation Events) = IEC 61850 -standardin mukainen viesti väylään kytketyltä laitteelta suoraan toiselle laitteelle

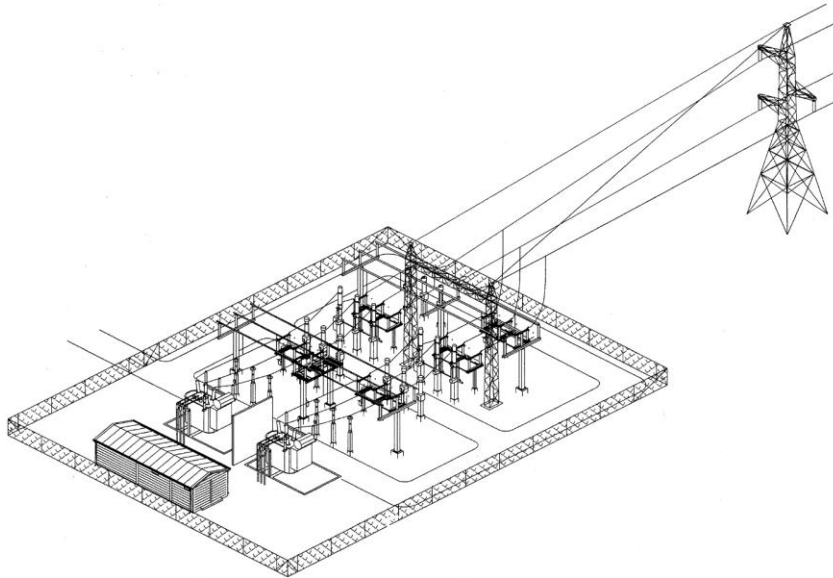
SMV (Sampled Measured Values) = IEC 61850 -standardin mukainen mittausarvoviesti

IP (Internet Protocol) = Protokolla pakettimuotoisen tiedon lähettämiseen laitteelta toiselle

HSO (High Speed Output) = Suoja-releen nopea ohjauslähtö. Tyypillisesti toteutettu transistoreilla sähkömekaanisen releen sijasta.

SF6 = Rikkiheksafluoridi. Tyypillisesti kaasueristetyissä sähkökojeissa käytetty kaasu.

2 SÄHKÖASEMA



KUVA 1. Tyypillinen 110/20 kV sähköasema (ABB-yhtiöt, 2000, s. 351)

"Sähköasemalla tarkoitetaan sellaista sähköenergian siirto- tai jakeluverkon kohtaa, jossa voidaan suorittaa kytkentöjä, jännitteen muuntamista tai sähköenergian siirron keskittämistä tai jakoa eri johdoille." (Mörsky, 1992, s. 235)

Kuvassa KUVA on kahdella muuntajalla varustettu ulkokytkinlaitos, jollainen myös Punkasalmen sähköasema periaatteeltaan on. Kahden päämuuntajan avulla sähköaseman toimintavarmuutta voidaan nostaa poikkeustilanteissa. Myös aseman huoltaminen ja erilaiset korvauskytkennät helpottuvat.

2.1 Katkaisija

Katkaisija on komponentti, joka pystyy katkaisemaan oikosulkupiirissä kulkevan virran vaurioitumatta. Tämän ansiosta niitä voidaan yhdessä virtamuuntajien ja suojaraleiden kanssa käyttää sähköverkon suojauksessa, jossa tyypillinen tilanne on avautuminen ylivirta- tai maasulkutilanteessa. Katkaisijan valintaan vaikuttaa useat seikat, kuten jännitetaso, nimellisvirta, katkaisukyky ja sulkemiskyky. (Elovaara & Laiho, 1988, ss. 245-263)

Katkaisijat voidaan jakaa ryhmiin katkaisukammiossa käytetyn väliaineen mukaan seuraavasti:

- ilmakatkaisijat
- öljykatkaisijat
- vähäöljykatkaisijat
- paineilmakatkaisijat
- SF₆-(kaasu)katkaisijat
- tyhjökatkaisijat

(Elovaara & Laiho, 1988, s. 250)

Näistä katkaisijatyypeistä keski- ja suurjänniteverkoissa SF6- ja tyhjökatkaisijat ovat uusissa asennuksissa korvanneet muut katkaisijatyypit, mutta muita katkaisijatyyppejä on edelleen paljon asennettuna käytössä olevissa laitteistoissa.

2.2 Erotin

Erottimien avulla virran kulkureittejä kojeistossa voidaan muuttaa. Esimerkiksi huolto-, muutos- ja korjaustöitä varten osia kojeistosta voidaan tehdä jännitteettömäksi. Tavallisten erottimien virran katkaisukyky on kuitenkin niin pieni, ettei niillä voida katkaista virtaa kuormitetusta virtapiiristä, vaan tätä varten täytyy käyttää katkaisijaa. Tästä syystä erottimien tulee myös olla lukittavissa, jotta mahdollisesti vaarallinen virheikäyttö voidaan estää. (Elovaara & Laiho, 1988, ss. 263-271)

Erottimia voidaan käyttää myös kiinteinä maadoituserottimina, joilla estetään vaarallisten indusoituneiden jännitteiden ja vikavirtojen vaikutus työkohteessa. Maadoituserottimien avulla voidaan säästää selvästi aikaa kunnossapitotöissä, kun kohteessa ei tarvita erillistä työmaadoitusta. (Elovaara & Laiho, 1988, ss. 263-271)

2.3 Muuntaja

Muuntajan avulla voidaan vaihtojännitteen ja -virran tasoa muuttaa taajuuden pysyessä samana. Muuntajilla on keskeinen osa sähköän siirrossa ja jakelussa, sillä jännitetasoa muuttamalla voidaan sähköän siirrossa tapahtuvat häviöt ja rakennuskustannukset optimoida. (Graetz, 1922)

110/20 kV sähköasemalla olevia 110/20 kV muuntajia kutsutaan päämuuntajiksi. Näiden muuntajien tehtävänä on muuntaa siirtoverkon 110 kV:n jännite jakeluverkon 20 kV:n jännitetasoon. Sähköasemalla tulee lisäksi olla myös vähintään yksi 20/0,4 kV:n jakelumuuntaja syöttämässä sähköasema-automaation tarvitsemää omakäyttöä sähköä.

Muuntajan muuntosuhde lasketaan kaavalla:

$$\mu = \frac{U_{2N}}{U_{1N}} \quad (1)$$

jossa

μ	on	muuntajan muuntosuhde
U_{2N}	on	toisiojännitteen nimellisarvo
U_{1N}	on	ensiöjännitteen nimellisarvo

(ABB-yhtiöt, 2000, s. 320)

2.4 Mittamuuntajat

Erilaisia mittamuuntajia käytetään virran ja jännitteen mittaukseen, jota käytetään hyväksi sähköverkon suojauksessa ja tilan tarkkailussa. Mittamuuntajien avulla sekundäärinen mittaustaitteisto voidaan pitää galvaanisesti erillään mitattavasta primääripiiristä. Mittamuuntajat mahdollistavat myös laajempien mitta-alojen käyttämisen ja mittalaitteiden vapaamman sijoittelun. (Mörsky, 1992, s. 85)

Ideaaliselle jännitemuuntajalle pätee:

$$\frac{I_p}{I_s} = \frac{N_s}{N_p} = K_n \quad (2)$$

Ideaaliselle virtamuuntajalle pätee:

$$\frac{U_p}{U_s} = \frac{N_p}{N_s} = k_n \quad (3)$$

joissa

I_p	on	ensiövirran tehollisarvo
I_s	on	toisiovirran tehollisarvo
U_p	on	ensiöjännitteen tehollisarvo
U_s	on	toisiojännitteen tehollisarvo
N_p	on	ensiön johdinkierrosluku
N_s	on	toision johdinkierrosluku
K_n	on	virtamuuntajan nimellismuuntosuhde
k_n	on	jännitemuuntajan nimellismuuntosuhde

(Mörsky, 1992, s. 85)

Todellisuudessa epäidealisuudet aiheuttavat mittamuuntajiin aina epätarkkuutta, joka ilmenee mitausarvon suuruus- ja kulmavirheenä. Tämä epätarkkuus tulee ottaa huomioon suojareleistystä suunnitellessa. (Mörsky, 1992, s. 86)

2.5 Suojareleet

Sähköasemalla on erilaisia vikatilanteita varten suojareleitä, jotka mittamuuntajien antamien mitaustietojen perusteella pystyvät käyttämään sähköaseman primäärilaitteita, kuten katkaisijoita. Pääasiassa näitä releitä käytetään erilaisten vikatilanteiden tunnistamiseen ja vikaantuneen johto-osan tai komponentin erottamiseen katkaisijoiden avulla, mutta releiden avulla voidaan myös toteuttaa muita toimintoja, kuten päämuuntajan jännitteensäätö. (Mörsky, 1992, s. 15)

Suojareleiden avulla suojattavat kohteet jaotellaan suoja-alueisiin, jotka voivat koostua esimerkiksi yksittäisestä komponentista, kuten päämuuntajasta tai generaattorista, tai laajemmista kokonaisuuksista, kuten keskijännitelähdöstä jakelumuuntajineen. Nämä suoja-alueet tulee suojareleiden asettellulla saada toimimaan selektiivisesti siten, että vain vikaantunut suoja-alue erotetaan verkosta. (Mörsky, 1992, ss. 15-16)

Releet voidaan sisäisen toimintaperiaatteen mukaan jakaa seuraaviin ryhmiin:

- Mekaaniset releet
- Tasasuuntaajareleet
- Staattiset releet
- Numeeriset (mikroprosessoriohjatut) releet

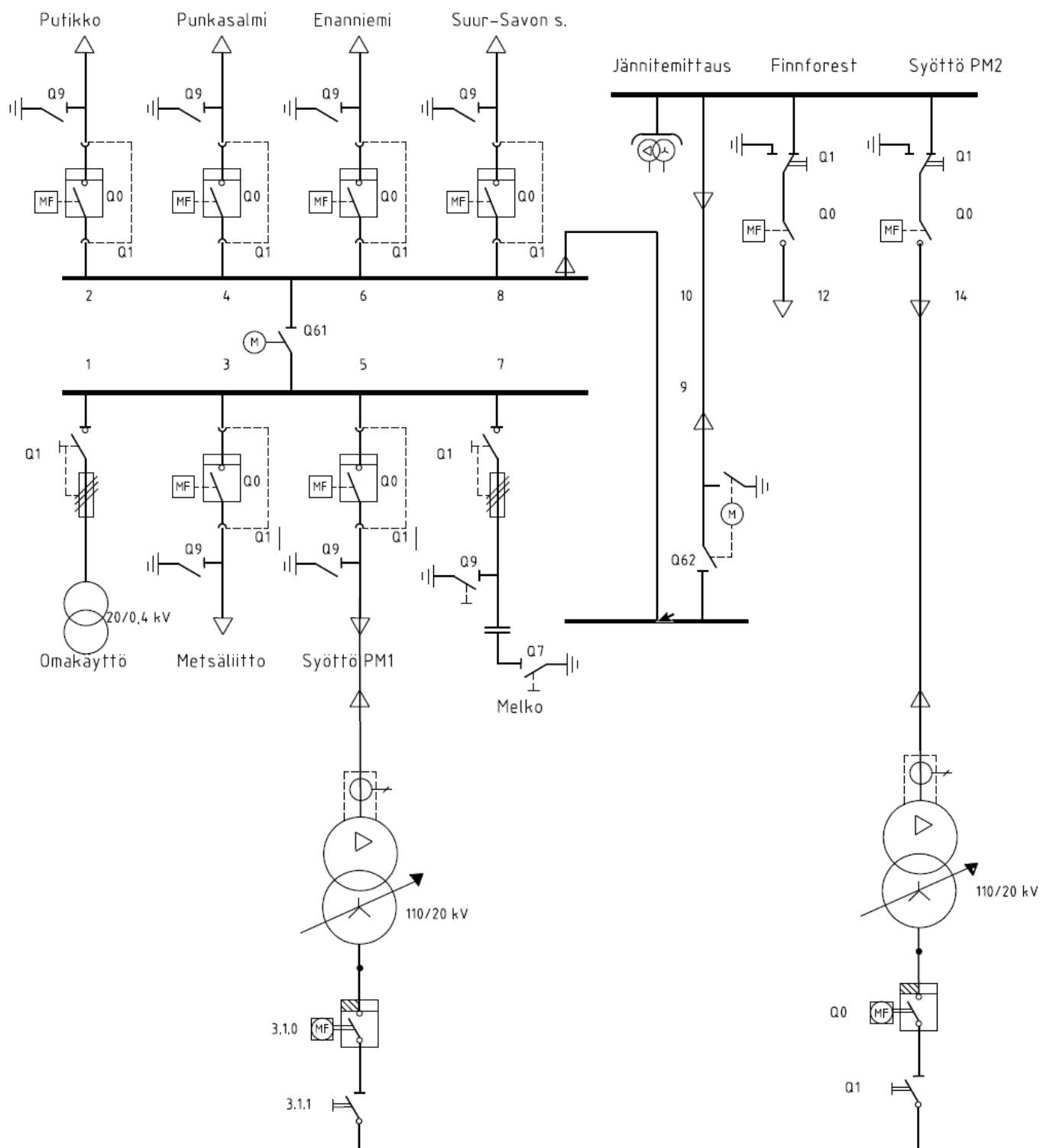
Numeeriset releet ja kennotermiinaalit, joihin on integroitu suuri määrä erilaisia suojaus-, ohjaus- ja mittaus toimintoja, ovat uusien asennusten osalta käytännössä korvanneet kaikki vanhemmat rele-tyypit sähköaseman suojauksessa, mutta muita reletyyppejä on edelleen asennettuna ja käytössä vielä myös tulevaisuudessa. (Mörsky, 1992, ss. 19-25)

2.6 IEC 61850

IEC 61850 on oliopohjainen sähköasema-automaation tiedonsiirto standardi, jonka avulla sähköaseman erilaiset laitteet voivat kommunikoida kaukokäyttäjärjestelmän, sekä toistensa kanssa Ethernet-verkon yli. Kyseisen standardin avulla voidaan teoriassa ottaa minkä tahansa valmistajan laite ja liittää se toimivaksi osaksi sähköasema-automaatiota. Laitteiden käyttöönottoaminen myös helpottuu, kun standardi määrittelee tarkoin käytettävät viestityypit. (Moxa Inc.)

Standardin avulla voidaan myös välittää aikakriittisiä tietoja GOOSE-viesteinä suoraan laitteelta toiselle. Koska tällä tavoin lähetettyjen viestien viive on hyvin pieni, vain alle 4 millisekuntia, voidaan sen avulla lähettää jopa lukitus- ja tilatietoja suojalaitteelta toiselle. Tällä tavoin erilaisten kosketintietojen välittämisen tarve erillisiä johtimia pitkin laitteiden välillä poistuu, joten sähköaseman johdotus yksinkertaistuu ja vikapaikkojen määrä vähenee. Parhaimmillaan standardin avulla voidaan jopa mittamuuntajien mittaustietoja tuoda suoraan digitaalisesti suojalaitteille SMV-viesteinä. (Moxa Inc.)

3 PUNKASALMEN SÄHKÖASEMAN NYKYTILANNE



KUVA 2. Punkasalmen sähköaseman yksinkertaistettu pääkaavio

Punkasalmen sähköasema on rakennettu vuonna 1985 palvelemaan silloisen Punkaharjun kunnan (nyk. Savonlinnan kaupunki) Punkasalmen taajamaa ja sitä ympäröiviä alueita. Valmistuessaan sähköasemalla oli yksi 16 MVA tehoinen päämuuntaja ja neljä keskijännitelähtöä. Sähköaseman relesuojaus on toteutettu pääasiassa Oy Strömberg Ab:n staattisilla suojareleillä, jotka on kaukokäyttöä varten kytketty SPOC 110 C -ohjaus- ja mittausyksiköihin. Mittausyksiköt ovat yhteydessä Kuomic

3.1.1 Strömberg SPAJ 3C5 J3 -ylivirtarele

Kolmivaiheista SPAJ-ylivirtarelettä voidaan käyttää teollisuuden ja sähkölaitosten aikaselektiivisesti oikosulkusuojatuissa jakeluverkoissa. Kyseinen rele on staattinen suojarle, jonka ohjelmoitavissa olevat toiminnallisuudet ovat nykymittapuun mukaan hyvin rajalliset. Esimerkiksi 2. portaan ylivirtalaukaisun ($I > I_n$, momenttilaukaisu) viivästysaika on valittavissa ainoastaan välittömän ja 100 ms viivästyksen välillä ja virta-asettelut tehdään potentiometreillä, joiden tarkkuus ei yllä nykyaikaisten suojarleiden tasolle. Kyseisissä releissä ei myöskään itsessään ole minkäänlaista tiedonsiirtoväylää, vaan sähköasema-automaation ohjaus- ja tilatiedot joudutaan viemään erillisen tiedonsiirtoyksikön kautta kaukokäyttöjärjestelmälle. (Oy Strömberg Ab, 1981a)

SPAJ 3C5 -ylivirtareleitä on käytössä lähdoissa Metsäliitto, Punkasalmi, Enanniemi ja Suur-Savon Sähkö, sekä PM1 Syöttö -kennossa ja PM1-muuntajasuojana. Lisäksi PM1-muuntajan nollavirtareleenä on saman releen herkempi ja yksivaiheinen versio SPAJ 1A5 J3.

3.1.2 Strömberg SPAS 1F1 J3 -maasulkurele

SPAS-maasulkurele on tarkoitettu maasta erotettujen tai sammutettujen keskijänniteverkkojen selektiiviseen maasulkusuojaukseen. Rele mittaa kaapelivirtamuuntajan avulla summavirtaa, sekä jännitemuuntajien avulla verkon nollapisteen ja maan välistä jännitettä, joiden suuruuden ja välisen kulman perusteella tehdään hälytys- tai laukaisupäätös. Suojasasettelut tehdään etupaneelin asettelupistikkeillä ja potentiometreillä. Pistikkeillä valitaan myös peruskulma, jolla määritetään suojarle toimimaan joko sammutetussa tai maasta erotetusta verkossa. Tarvittaessa peruskulma voidaan valita myös kauko-ohjauksella. Releessä ei kuitenkaan ole mahdollisuutta ulkoiselle tiedonsiirtoväylälle, vaan ohjaus- ja tilatietojen välittämiseksi kaukokäyttöjärjestelmälle joudutaan käyttämään erillistä tiedonsiirtoyksikköä. (Oy Strömberg Ab, 1981b)

SPAS 1F1 J3 -maasulkureleitä on käytössä lähdoissa Metsäliitto, Punkasalmi, Enanniemi ja Suur-Savon Sähkö, sekä PM1 Syöttö -kennossa ja PM1-muuntajasuojana.

3.1.3 Strömberg SPAT 2D200 J3 -jälleenkytkentärele

SPAT-jälleenkytkentärelettä käytetään yhdessä SPAJ- ja SPAS-releiden kanssa. Kyseisen jälleenkytkentäreleen avulla voidaan jälleenkytkentäkelpoisille katkaisijoille ohjelmoida yksi pikajälleenkytkentä ja korkeintaan kaksi aikajälleenkytkentää halutuilla hidastusajoilla. Jälleenkytkentöjen epäonnistuksessa rele antaa "Katkaisija auki" -hälytyksen. Jälleenkytkennät voidaan tarvittaessa ottaa myös tilapäisesti pois käytöstä kauko-ohjauksella, kun esimerkiksi haetaan sähköverkon vikapaikkaa "vyöryttämällä" tai kun verkon läheisyydessä tehdään töitä. (Oy Strömberg Ab, 1980a)

SPAT-jälleenkytkentäreleet ovat käytössä Metsäliiton, Punkasalmen ja Enanniemen lähdoissa.

3.1.4 ABB REF541 ja REF543 -kennotermiinaalit

Täysin digitaalisesti konfiguroitava REF541-kennotermiinaali on tarkoitettu ensisijaisesti ohjaukseen, suojaukseen, valvontaan ja mittaukseen keskijänniteverkoissa. Laitetta pystytään käyttämään kuitenkin myös monissa muissa tehtävissä, kuten moottoreiden, generaattoreiden ja muuntajien suojauksessa. Laitteeseen on myös mahdollista ohjelmoida samanlaisia toimintoja, kuin perinteisiin automaation logiikkaohjaimiin yleiskäyttöisten digitaalitulojen ja -lähtöjen avulla. (ABB Oy, 1999)

Siinä missä vanhemmissa staattisissa releissä on tarvittu jokaiselle toiminnallisuudelle, kuten ylivirta- tai maasulkusuojaukselle, oma rele tai moduuli, voidaan yhteen REF541-kennotermiinaaliin ohjelmoida kaikki halutut suojaustoiminnot samaan laitteeseen. Lisäksi laitteessa on myös monipuoliset toiminnot mittausta, ohjausta ja sähkönladun valvontaa varten. Kennotermiinaali pystyy myös itse kommunikoidaan suoraan muun sähköasema-automaation kanssa, eikä erillistä tiedonsiirtoyksikköä tarvita. (ABB Oy, 1999)

REF541-kennotermiinaali on käytössä Putikon lähdössä, ja REF543 on käytössä PM2-päämuuntajan muuntajasuojana.

3.1.5 Strömberg SPAU 3F100 J3, SPAU 1G100 J3 ja SPAU 1K100 J3 -jännitereleet

SPAU-jännitereleet on tarkoitettu yksi- ja kolmivaiheiseen jännitteen valvontaan ja ilmaisemaan symmetrisiä ja epäsymmetrisiä yli- ja alijännitetilanteita. Releiden havahtumis- ja laukaisuaajat ovat käyttäjän vapaasti aseteltavissa portaattomasti. (Oy Strömberg Ab, 1980b) (Oy Strömberg Ab, 1981c) (Oy Strömberg Ab, 1981d)

Kaikki jännitereleet sijaitsevat kennossa Omakäyttö ja niiden mittaama jännite tuodaan samasta kennosta $\frac{20000}{\sqrt{3}} / \frac{100}{\sqrt{3}}$ -muuntosuhteella olevien jännitemuuntajien kautta. Toimiessaan releet laukaisevat auki kennoston syöttökatkaisijan.

3.1.6 ABB REJ525 -ylivirta- ja maasulkurele

Yleiskäyttöinen REJ525 -suojarele on tarkoitettu sähköverkon suojaukseen, mutta sitä voidaan käyttää myös muuntajien, generaattoreiden ja moottoreiden suojauksessa. Päätoiminnot ovat selektiivinen oikosulkusuojaus, sekä suuntaamaton maasulkusuojaus. Käytännössä laite on yksinkertaisempi ja karsitumpi versio REF541-suojareleestä. Sitä käytetään täyttämään vähemmän haastavat suojaustarpeet ja siksi se sopii hyvin varasuojaksi. (ABB Oy, 1998)

Yksi REJ525-suojarele on käytössä PM2-muuntajan varasuojana.

3.1.7 VAMP 220 -valokaarisuoja

VAMP 220 mikroprosessoriohjattu valokaarisuoja käytetään pien- ja keskijännitekojeistojen suo-
jauksessa katkaisemaan syöttövirta mahdollisimman nopeasti valokaaren ilmaannuttua. Syöttökai-
kaisijan avauskomento annetaan 7 millisekunnin päästä valokaaren syttymisestä. Valokaari havai-
taan yhdistämällä valokaariantureista saatava valon voimakkuustieto sekä virtamuuntajista saatava
virtatieto. Kumpikaan tieto yksistään ei riitä laukaisutiedon antamiseen, mutta syöttövirran ollessa yli
asetteluarvon, sekä valokaarianturin havaitessa voimakkaan valonvälähdyksen, annetaan syöttökai-
kaisijalle laukaisutieto. Yhteen VAMP 220 -valokaarisuojaan liitettyjen valokaariantureiden määrää
voidaan kasvattaa VAM 12 CD -orjayksiköillä aina sataan anturiin asti. (VAMP Ltd)

Sähköasemalla VAMP 220 -valokaarisuoja on asennettu vanhemman kennoston Melko-kennoon,
mutta se on määritelty suojaamaan uudempaa Holec-kennostoa, johon kuuluvat kennot 12 ja 14
(Finnforest, Syöttö PM2).

3.1.8 VAMP 3 AX 5 -valokaarisuoja

Kuten VAMP 220, myös VAMP 3 AX 5 on tarkoitettu pien- ja keskijännitekojeistojen valokaarisuo-
jaukseen ja sen toimintaperiaate on täysin samanlainen. Järjestelmää voidaan myös laajentaa VAM
12 CD -keskittimillä. (Vaasa Electronics Oy, 1997)

VAMP 3 AX 5 -valokaarisuoja on käytössä sähköaseman vanhan puolen kennostossa, johon kuuluvat
kennot 1-8.

3.1.9 Kuumic KU2000 Protocol Master ja KU114 protokollamuuntimet

KU2000-protokollamuunnin toimii sähköaseman ala-asemana ja se välittää viestejä sähköaseman
SPA-automaatioväylästä eteenpäin MicroSCADA-kaukokäyttöjärjestelmälle ANSI-protokollaa käyt-
täten. Laitteen konfiguraatio määritetään ristiviittaustiedostolla, jossa eri protokollien tasot osoitetaan
toisiinsa. Sähköasema-automaatioon liittymistä varten ala-asemassa on mahdollisuus kahdelle SPA-
kierrolle. KU2000 taas on liitetty edelleen KU114-protokollamuuntimeen, jolla sarjaliikennepohjainen
ANSI-protokollan mukainen tieto liitetään IEC60870-5-104-protokollan mukaiseen valvomoverkkoon.
(ABB Oy, 2004)

Kyseinen ala-asemalaite on asennettu Punkasalmen sähköasemalle vuonna 2004. Vaikka kyseessä
onkin täysin toimiva laite, ovat sen ominaisuudet melko rajoittuneet varsinkin kehittyneempien omi-
naisuuksien osalta. Esimerkiksi nykyisellään REF-suojareleiden vikatallenteita ei voida siirtää valvo-
moon tutkittavaksi.

3.1.10 SPOC-tiedonsiirtoyksikkö

Koska Strömbergin staattiset SPA_-releet eivät itsessään sisällä tiedonsiirto-ominaisuuksia, tulee ne kaukokäytön mahdollistamiseksi kytkeä erillisiin SPOC-tiedonsiirtoyksiköihin. Nämä tiedonsiirtoyksiköt keräävät digitaali- ja analogiatulojen kautta tila- ja mittaustietoja ja lähettävät ne edelleen optista SPA-väylää pitkin sähköaseman ala-asemalle ja siitä edelleen kaukokäyttöjärjestelmään. Tiedonsiirtoyksiköiden neljän digitaalisen kosketinlähdön avulla voidaan sähköaseman laitteita myös kauko-ohjata. (Oy Strömberg Ab, 1989)

Punkasalmen sähköasemalla on yhteensä yhdeksän SPOC-tiedonsiirtoyksikköä. Koska yksiköiden tulojen- ja lähtöjen määrä on rajallinen erityisesti analogiatulojen osalta, saattaa mittaus- ja tilatietoja olla kytketty yksiköihin myös niiden omien kennojen ulkopuolelta. Tämän takia myöskään jälleenkytkentöjä ei voi kytkeä päälle ja pois lähtökohtaisesti SPA_-sarjan releitä käyttäviltä kennoilta, vaan kaikkien kennojen jälleenkytkennät ohjautuvat kerralla päälle tai pois.

3.1.11 Telemerkki TIC-110/40E -hälytyskeskus

TIC-110/40E -on tarkoitettu ensisijaisesti LVI-laitteistojen toiminnan valvontaan, mutta se sopii sellaisenaan myös käytettäväksi nykyisessä käyttötarkoituksessaan sähköaseman hälytyskeskuksena. Keskukseen tuodaan hälytystiedot erilaisilta laitteilta avautuvilla tai sulkeutuvilla koskettimilla ja ne voidaan asettaa hälyttämään akustisesti summerilla ja/tai optisesti merkkivaloilla. (Oy Tele-merkki Ab, 1982)

Kyseinen hälytyskeskus on Punkasalmessa asennettu vain paikallista hälytysvalvontaa varten, eikä sitä ole liitetty muuhun sähköasema-automaatioon. Kaikki kaukokäyttöjärjestelmän hälytystiedot tulevat SPOC-tiedonsiirtoyksiköiden kautta.

3.1.12 SPA-automaatioväylä

SPA-automaatioväylää (Strömberg Protection Acquisition) käytetään sähköaseman sisäiseen kommunikointiin. Väylä on rakenteeltaan yksisuuntainen rengasverkko, jossa isäntälaitte kyselee (pollaa) orjalaitteilta haluttuja tietoja. Erilaisille tiedoille voidaan antaa erisuuruisia kyselyaikoja, jolloin tärkeiden tietojen arvoja voidaan virkistää useammin ja vähemmän tärkeitä tietoja harvemmin. Tällä tavalla voidaan optimoida väylän liikennettä, sillä väylän nopeus on maksimissaan vain 9,6 kbit/s. Väylän signaalit välittyvät optisesti joko lasi- tai muovikuitua pitkin. Vaikka kyseessä on rengasverkko, ei se yksisuuntaisuutensa takia ole lainkaan vikasietoinen, vaan katkos tai laiterikko missä kohdassa kuitua hyvänsä aiheuttaa koko verkon toimimattomuuden. (ABB-yhtiöt, 2000, s. 414)

3.1.13 Strömberg OSAM 24 P 2 -vähäöljykatkaisija

OSAM-katkaisija on kolmivaiheinen vähäöljykatkaisija, joka on tarkoitettu sisäasennuksiin ja niitä on ollut saatavina sekä kiinteästi asennettuina, että vaunukatkaisijoina. Katkaisutapahtuma perustuu öljyyn, josta avaamisvaiheessa höyrystyy pieni osa valokaaren aiheuttamana. Tämä korkeapaineinen höyry ja sen aikaansaama öljyvirtaus katkaisevat valokaaren. (Oy Strömberg Ab, 1985)

Punkasalmen sähköasemalla yhteensä 5 kennossa (Punkasalmi, Metsäliitto, Enanniemi, Suur-Savon Sähkö ja PM1 Syöttö) on käytössä OSAM-vähäöljykatkaisijat. Katkaisijoiden huollosta vastaava ABB Oy on ilmoittanut, että se tukee kyseisiä laitteita enää vuoden 2018 loppuun saakka, jonka jälkeen varaosien saatavuutta ei voida enää varmistaa. Tästä syystä myös näiden katkaisijoiden saneeraaminen on ajankohtaista lähitulevaisuudessa. (ABB Oy, 2018a)

3.1.14 Alstom ECA 24-20-06-27 -tyhjökatkaisija

Alstom ECA -tyhjökatkaisijat tunnetaan myös HVX-tuotenimellä. Kyseisiä katkaisijoita on valmistanut Alstomin lisäksi myös Areva sekä Schneider Electric. Katkaisijan avaustapahtuma perustuu koskettimien nopeaan erotusliikkeeseen hyvin eristävässä tyhjiössä, joka sammuttaa koskettimien välisen valokaaren. Tyhjiötekniikan ansiosta katkaisija on pitkäikäinen ja se tarvitsee vain vähän huoltoa. (Schneider Electric, 2011)

OSAM-katkaisijoihin verrattuna ECA-tyhjökatkaisija on huomattavasti nykyaikaisempi laite ja samaa rakennetta käytetään edelleen Schneider Electricin HVX-katkaisijoissa, jotka ovat vielä tuotannossa. Punkasalmen sähköasemalla tällainen katkaisija on käytössä Putikon lähdössä, jonne se on asennettu vuonna 2001.

4 RELESUOJAUS SÄHKÖASEMALLA

Relesuojauksen avulla pyritään havaitsemaan ja automaattisesti erottamaan vika-alueita. Tavoitteena on, että erotettu vika-alue on mahdollisimman pieni ja erottaminen tehdään mahdollisimman nopeasti. Nopealla erottamisella minimoidaan vian aiheuttamat termiset vaikutukset, sekä muut vaaratekijät ja vahingot. (Mörsky, 1992, ss. 15-16)

4.1 Selektiivisyys

Suojauksen selektiivisyys voidaan toteuttaa seuraavilla tavoilla:

- Aikaselektiivinen suojaus
- Aika- ja virtaselektiivinen suojaus
- Aika- ja suuntaselektiivinen suojaus
- Virta- tai impedanssiselektiivinen suojaus
- Lukitussuojaus
- Differentiaalisuojaus
- Distanssi- ja vertosuojaus

(ABB-yhtiöt, 2000, s. 217)

Tässä opinnäytetyössä keskitytään keskijännitelähtöjen osalta aikaselektiiviseen oikosulkusuojaukseen ja suuntaselektiiviseen maasulkusuojaukseen sekä päämuuntajan osalta lisäksi differentiaalisuojaukseen.

Selektiivisyyden kannalta hyvin olennainen seikka on porrasaika, jolla määritetään pienin mahdollinen aikaviivästyksen ero kahden peräkkäisen suoja-alueen välillä. Jos aikaviivästyksen ero on liian pieni, on vaarana, että releet antavat laukaisukäskyn epäselektiivisesti. (ABB-yhtiöt, 2000, s. 23)

Porrasaika lasketaan kaavalla:

$$\Delta t_{DT} = 2 * t_E + t_R + t_{CB} + t_M \quad (4)$$

jossa

Δt_{DT}	on	porrasaika
t_E	on	releen toiminta-ajan toleranssi
t_R	on	retardaatio- eli pyörtöaika
t_{CB}	on	katkaisijan toiminta-aika
t_M	on	varmuusmarginaali

(ABB-yhtiöt, 2000, s. 23)

Parametrit löytyvät releiden ja katkaisijoiden dokumentoinnista varmuusmarginaalia lukuun ottamatta. Varmuusmarginaalin avulla otetaan huomioon virtamuuntajan kyllästyminen vikavirran DC-komponentin takia. Tyypillisesti varmuusmarginaalina käytetään yhtä vaihtovirran jakson aikaa (1/50 Hz = 20 ms). (ABB-yhtiöt, 2000, s. 24)

Esimerkiksi käytettäessä ABB:n REF615-kennoterminalia ja VD4-tyhjökatkaisijaa porrasaika on:

$$\Delta t_{DT} = 2 * 20 \text{ ms} + 30 \text{ ms} + 75 \text{ ms} + 20 \text{ ms}$$

$$\Delta t_{DT} = \mathbf{165 \text{ ms}}$$

(ABB, 2011a, s. 36) (ABB, 2011b, s. 30)

4.2 Keskijännitelähtöjen suojaus

Punkasalmen sähköaseman keskijännitelähtöjen suojaus käsittää suuntaamattoman ylivirtasuojauksen ja suunnatun maasulkusuojauksen. Lisäksi ilmajohto-osuuksia sisältävissä lähdöissä on käytössä pika- ja aikajälleenkytkennät.

4.2.1 Oikosulku

Koska Punkasalmen sähköaseman tapauksessa kaikki keskijännitelähdöt ovat säteittäisiä, eikä verkoon ole kytketty maastokatkaisijoita tai generaattoreita, voidaan suojareleissä käyttää oikosulun osalta yksinkertaista suuntaamatonta aikaselektiivistä laukaisua. Ensimmäisessä suoja-alueessa on syöttökatkaisijoiden suojaama sähköasemakiskosto ja seuraavassa suoja-alueessa itse keskijännitelähdöt.

Oikosulkusuojauksen toteuttamisessa tulee tietää verkostokomponenttien oikosulkukestoisuudet sekä verkossa esiintyvät suurimmat ja pienimmät mahdolliset oikosulkuvirrat, sekä normaalit kuormitusvirrat. (ABB-yhtiöt, 2000, s. 198)

Kolmivaiheinen oikosulkuvirta lasketaan kaavalla:

$$I''_{k3} = \frac{c * U_n}{\sqrt{3} * Z_1} \quad (5)$$

jossa

I''_{k3}	on	kolmivaiheinen oikosulkuvirta
c	on	jännitekerroin
U_n	on	syöttävän verkon jännite
Z_1	on	syöttävän verkon impedanssi

(ABB-yhtiöt, 2000, s. 198)

Jännitekerroin c saadaan taulukosta 2.

TAULUKKO 2. Jännitekertoimen arvot (ABB-yhtiöt, 2000, s. 198)

Nimellisjännite U_n	C_{max}	C_{min}
pienjännite		
100-1000 V		
a) 230/400 V	1,00	0,95
b muut jännitteet	1,05	1,00
keskijännite		
1-35 kV	1,10	1,00
suurjännite		
35-230 kV	1,10	1,00

Koska keskijännitelähtöihin ei ole kytketty generaattoreita, voidaan kaksivaiheiselle oikosululle käyttää kaavaa:

$$I''_{k2} = \frac{\sqrt{3}}{2} * I''_{k3}$$

(6)

jossa

I''_{k2} on kaksivaiheinen oikosulkuvirta

I''_{k3} on kolmivaiheinen oikosulkuvirta

(ABB-yhtiöt, 2000, s. 198)

Keskijänniteverkon oikosulkuvirtoja laskettaessa tulee ottaa huomioon myös päämuuntajan, sekä sitä edeltävät siirtoverkon (taustaverkon) impedanssi. Päämuuntajan impedanssiarvot saadaan muuntajan tyyppikilvestä ja taustaverkon arvot kantaverkkoyhtiö Fingrid Oyj:ltä.

Päämuuntajien arvot on ilmoitettu suhteellisena oikosulkuimpedanssina ja suhteellisena oikosulkuresistanssina. Näistä saadaan absoluuttiset arvot kaavoilla:

$$Z_k = \frac{z_k}{100} * \frac{(U_{1N})^2}{S_N} \quad (7)$$

ja

$$R_k = \frac{r_k}{100} * \frac{(U_{1N})^2}{S_N} \quad (8)$$

joissa

Z_k	on	oikosulkuimpedanssi
z_k	on	suhteellinen oikosulkuimpedanssi
R_k	on	oikosulkuresistanssi
r_k	on	suhteellinen oikosulkuresistanssi
U_{1N}	on	nimellisjännite (pääjännite)
S_N	on	nimellisteho

(ABB-yhtiöt, 2000, s. 200)

Suhteellisen oikosulkuimpedanssin ja oikosulkuresistanssin perusteella puolestaan saadaan suhteellinen oikosulkureaktanssi kaavalla:

$$x_k = \sqrt{z_k^2 - r_k^2} \quad (9)$$

jossa

x_k	on	suhteellinen oikosulkureaktanssi
z_k	on	suhteellinen oikosulkuimpedanssi
r_k	on	suhteellinen oikosulkuresistanssi

TAULUKKO 3. Päämuuntajien oikosulkuimpedanssit

	Yksikkö	Minimi	Keski	Maksimi
PM1	r_k (%)	0,43	0,42	0,43
	R_k (Ω)	0,12	0,12	0,12
	z_k (%)	11,00	10,30	9,30
	Z_k (Ω)	3,03	2,84	2,56
	X_k (Ω)	3,03	2,84	2,56
	\underline{Z}_k (Ω)	0,12+3,03j	0,12+2,84j	0,12+2,56j
PM2	r_k (%)	0,54	0,55	0,57
	R_k (Ω)	0,15	0,15	0,16
	z_k (%)	10,80	10,20	9,20
	Z_k (Ω)	2,98	2,81	2,54
	X_k (Ω)	2,97	2,81	2,53
	\underline{Z}_k (Ω)	0,15+2,97j	0,15+2,81j	0,16+2,53j

Taulukon 3 arvoista suhteelliset arvot ovat muuntajien tyyppikilpien ilmoittamia ja absoluuttiset luevat näistä edeltävillä kaavoilla laskettuja. Muuntajien erilaiset minimi-, keski- ja maksimi-arvot johtuvat käämikytkimestä, joka asentoaan muuttaessaan myös muuttaa hieman koko muuntajan sähköisiä arvoja.

TAULUKKO 4. Punkasalmen taustaverkon oikosulkuvirta ja -impedanssit vuosille 2018-2022

	Minimi	Normaali	Maksimi
I_k (kA)	1,2	3,0	3,2
Z_k (Ω)	19,3+49,1j	6,6+22j	6,1+20,9j
Z'_k (Ω)	0,7+1,79j	0,24+0,8j	0,22+0,76j

Koska Fingridin ilmoittaman taustaverkon impedanssit ovat 110 kV jännitetasossa, tulee ne redusoida päämuuntajan yli keskijännitteelle. Tämä tehdään kertomalla saadut arvot muuntosuhteen neliöllä (μ^2). Fingridin ilmoittamat erilaiset minimi- keski- ja maksimi-arvot johtuvat kantaverkon erilaisista normaalitilanteen kytkentätilanteista, jotka vaikuttavat liittymispisteen impedanssiin ja sitä kautta oikosulkuvirtaan.

Summaamalla nämä kahden taulukon arvot toisiinsa saadaan kummallekin päämuuntajalle erikseen taulukon 5 mukaiset impedanssi- ja oikosulkuarvot.

TAULUKKO 5. Päämuuntajakohtaiset oikosulkuimpedanssit ja -virrat keskijännitepuolelle

	Yksikkö	Minimi	Keski	Maksimi
PM1	Z_k (Ω)	0,82+4,82j	0,36+3,64j	0,34+3,32j
	Z_k (Ω)	4,89 \angle 80,35°	3,66 \angle 84,35°	3,34 \angle 84,15°
	$I_{k3\max}$ (kA)	2,73	3,65	4,00
	$I_{k2\min}$ (kA)	2,15	2,87	3,15
PM2	Z_k (Ω)	0,85+4,76j	0,39+3,61j	0,38+3,29j
	Z_k (Ω)	4,84 \angle 79,88°	3,63 \angle 83,83°	3,31 \angle 83,41°
	$I_{k3\max}$ (kA)	2,76	2,76	2,76
	$I_{k2\min}$ (kA)	2,17	2,17	2,17

Koska päämuuntajien toisionapojen ja sähköaseman keskijännitekiskoston välissä on vain lyhyt kaapeli, jonka poikkipinta-ala on suuri, voidaan tämän kaapelin vaikutus oikosulkuvirtoihin jättää huomioida. Täten muuntajan napojen oikosulkuvirta-arvoja voidaan pitää keskijännitekiskoston oikosulkuvirta-arvoina. Tämä on samalla myös suurin kolmivaiheinen oikosulkuvirta kullekin keskijännitelähdölle.

Seuraavaksi otetaan mukaan lähtöjen impedanssit ja lasketaan niiden perusteella pienimmät mahdolliset kaksivaiheiset oikosulkuvirrat. Koska eri johtolähdöillä on paljon solmupisteitä ja erilaisia kaapeli- ja johtolajeja, otetaan suurimmat impedanssiarvot suoraan verkkotietojärjestelmästä. Kaikki laskenta on tehty käyttäen Microsoft Excel -taulukkolaskentaohjelmistoa.

TAULUKKO 6. Johtolähtöjen pituudet, impedanssit ja pienimmät kaksivaiheiset oikosulkuvirrat

	Pituus (km)	Z_{johto} (Ω)	Minimi I_{k2} (kA)	Normaali I_{k2} (kA)	Maksimi I_{k2} (kA)
Putikko	9,97	2,178	1,63	1,98	2,09
Metsäliitto	3,59	0,523	2,13	2,76	2,99
Punkasalmi	7,77	1,058	1,94	2,45	2,63
Enanniemi	28,1	12,084	0,68	0,73	0,75
Suur-Savon Sähkö	0	0	2,36	3,16	3,46
Finnforest	2,72	0,219	2,26	2,98	3,25

Pienin kaksivaiheinen oikosulkuvirta on pienin arvo, jolla suojaraleiden oikosulkusuojauksen tulee havahtua. Käytännössä havahtumisraja kannattaa asettaa vielä tätäkin rajaa alemmas, sillä vikapaikassa on usein vian aiheuttamasta kappaleesta johtuvaa impedanssia, joka alentaa oikosulkuvirtaa. Lisäksi virtamuuntajien toistokyky suurilla virroilla voi olla huono oikosulkuvirran DC-komponentin aiheuttaman kyllästymisen takia. Suurin virta, jolla suojaraleen tulee havahtua, on

$$0,7 * I_{k2min}$$

(10)

jossa

 I_{k2min} on pienin oikosulkuvirta

Tämä kerroin toimii varmuusmarginaalina suojaraleen toimintatarkkuudelle, virtamuuntajien virheille sekä epätarkkuuksille oikosulkuvirtalaskelmissa. (ABB-yhtiöt, 2000, s. 239)

Alimpaan havahtumisrajaan vaikuttaa johtolähdön suurin kuormitusvirta, joka ei saa missään tilanteessa aiheuttaa suojaraleen ylivirtasuojauksen havahtumista. Tätä virta-arvoa määritettäessä tulee ottaa huomioon myös mahdolliset korvaussyöttötilanteet, sekä jakelumuuntajien käynnistysvirtasysäys. Korvaussyöttötilanteet ovat tyypillisiä erilaisissa vikatilanteissa, sekä komponenttien huoltoa- ja kunnossapitoa tehdessä. Jakelumuuntajien kytkentävirtasysäykset taas voivat pahimmillaan olla jopa 8-12 kertaa muuntajien nimellisvirran huippuarvon suuruisia ja niiden puoliintumisaika on noin 0,3-0,05 sekuntia. Nykyaikaiset suojaraleet osaavat tosin havaita kytkentävirtasysäyksen tarkkailemalla toisen yliaallon määrän suhdetta perusaaltoon. Kun suhdeluku ylittää asetteluarvon, lukitsee rele automaattisesti ylivirtalaukaisun kytkentävirtasysäyksen ajaksi. (ABB-yhtiöt, 2000, s. 238) (ABB-yhtiöt, 2000, s. 322) (ABB Oy, 2008, s. 26)

Lähtöjen suurimmat kuormitusvirrat saadaan verkkotietojärjestelmästä, joka laskee virrat automaattisesti kuluttajien käyttämän vuosienergian perusteella. Kuten taulukosta 7 nähdään, on lähtöjen suurimmat kuormitusvirrat hyvin kaukana lähdoilla esiintyvistä pienimmistä oikosulkuvirroista. Tämä antaa suuren marginaalin valittaessa suojaukselle pienimpiä ylivirtasuojan havahtumisarvoja.

TAULUKKO 7. Keskijännitelähtöjen suurimmat kuormitusvirrat ja valitut havahtumisrajat

Kuormitusvirrat	I (A)	3I> (A)
Syöttö PM1	140	800
Putikko	14	400
Metsäliitto	32	400
Punkasalmi	65	400
Enanniemi	29	200
Suur-Savon Sähkö	0	400
Syöttö PM2	315	800
Finnforest	315	600

Havahtumisrajat on valittu siten, että mahdollisiin kytkentävirtasysäyksiin ja korvauskytkentöihin on jätetty reilusti varaa, mutta arvot ovat silti selvästi alle pienimpien oikosulkuvirtojen. Virtarajat mahdollistavat esimerkiksi vain toisen syöttökatkaisijan käytön koko aseman syöttämiseen ja Finnforest-lähdön korvauskytkennän Metsäliitto ja Punkasalmi-lähtöjen kautta. Kaapelien kuormitettavuuden takia edeltä mainitut lähdöt pitää tosin ko. korvauskytkennässä kytkeä rinnakkain.

4.2.2 Terminen kesto ja jälleenkytkentä

Oikosulkutilanteessa johtimien läpi kulkee nimellisvirran ylittävä virta, joka alkaa lämmittää johdinta voimakkaasti. Esimerkiksi PVC-eristeisille kaapeleille suurin lämpötila on 150 C ja PEX-eristeisille kaapeleille 250 C, jotka ylittyvät suurilla oikosulkuvirroilla erittäin nopeasti. (ABB-yhtiöt, 2000, ss. 504-505)

Termistä oikosulkukestoisuutta tarkastellessa on otettava myös huomioon pika- ja aikajälleenkytkennät, jotka aiheuttavat ensimmäisen oikosulkutilanteen jälkeen vielä pahimmassa tapauksessa kaksi oikosulkutilannetta lisää. Näiden jokaisen oikosulun laukaisuviivästyksen aiheuttama lämpenemä, sekä aikajälleenkytkennän aikana tapahtuma johtimen jäähtyminen tulee ottaa huomioon. (Lakervi & Partanen, 2008)

Tämä oikosulkuvirran ekvivalenttinen vaikutusaika voidaan laskea yhtälöllä:

$$t = t_1 * e^{-\frac{t_0}{\tau}} + t_2$$

(11)

jossa

t	on	oikosulkuvirran ekvivalenttinen vaikutusaika
t_1	on	oikosulun kesto aika ennen aikajälleenkytkentää
t_0	on	aikajälleenkytkennän jännitteetön aika
τ	on	johdon jäähtymisaikavakio
t_2	on	aikajälleenkytkennän jälkeinen oikosulun kesto aika

(Lakervi & Partanen, 2008, s. 177)

Koska releissä tullaan käyttämään samaa viivästysaikaa kaikissa jälleenkytkennän laukaisutapahtumissa, on $t_1 = t_2$. Tästä johtuen myös ennen aikajälleenkytkentää on kaksi yhtä pitkää viivästyspahtumaa, joten kaavan 11 oikosulun kesto aika ennen aikajälleenkytkentää kaksinkertaistetaan.

Suurimman mahdollisen laukaisuviiveen selvittäminen aloitettiin katsomalla verkkotietojärjestelmästä eri johtolähtöjen termisesti heikoimmat solmupisteet ja niissä käytetyt johtolajit, sekä johtolajien suurimmat sallitut yhden sekunnin ajan vaikuttavat oikosulkuvirrat sekä jäähtymisaikavakiot.

TAULUKKO 8. Johtolähtöjen termisesti heikoimman osien oikosulkuvirrat, johtolajit ja johtojen sallitut 1 s. oikosulkuvirrat ja jäähtymisaikavakiot

Johtolähtö	I_{k3} (kA)	Johtolaji	I_{k1s} (kA)	τ (min)
Putikko	2,375	MA50XW	4,7	36
Metsäliitto	3,316	AF131	10,2	10
Punkasalmi	3,194	MA95XW	8,9	45
Enanniemi	2,643	AFS25S	1,9	3
Suur-Savon Sähkö	-	-	-	-
Finnforest	3,799	MA240XW	22,6	98

Kun oikosulun kesto aika on $\neq 1$ s, voidaan johtimen suurin sallittu oikosulkuvirta laskea yhtälöllä:

$$I_{kt} = \frac{I_k}{\sqrt{\frac{t}{1s}}} \quad (12)$$

jossa

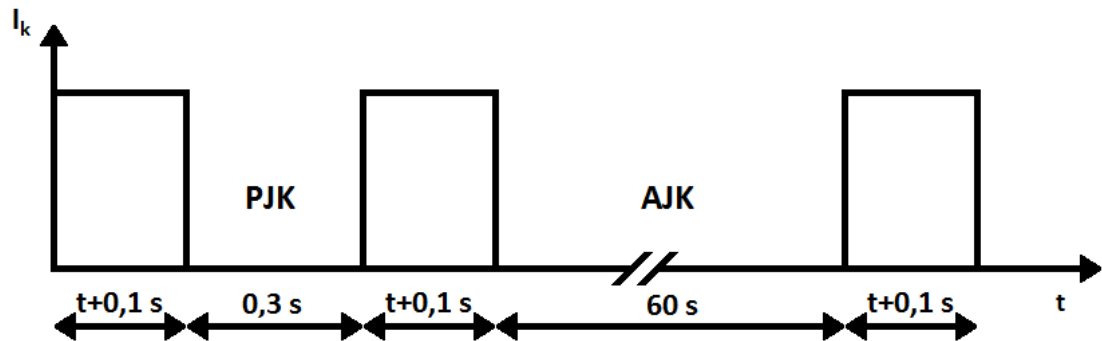
I_{kt} on johtimelle sallittu oikosulkuvirta
 t on oikosulun kesto aika
 I_k on johtimen sallittu 1 sekunnin oikosulkuvirta

(Lakervi & Partanen, 2008, s. 180)

Jälleenkytkennässä suojarele tai erillinen jälleenkytkentärele ohjaa laukaisun jälkeen katkaisijan takaisin kiinni ja yrittää näin palauttaa sähkönjakelun ennalleen. Jälleenkytkentöjen avulla voidaan verkosta riippuen jopa 80 % vioista poistaa automaattisesti. Tyypillisesti jälleenkytkentäsekvenssi koostuu yhdestä pikajälleenkytkennästä ja yhdestä aikajälleenkytkennästä, mutta myös muita yhdistelmiä on käytössä. Jälleenkytkentöjä käytetään lähinnä ilmajohtoverkoissa, joissa poistuvia vikoja aiheuttavat esimerkiksi salamat ja linnut. Kaapeliverkossa jälleenkytkentöjä taas yleensä ei käytetä, sillä vika kaapeliverkon piirissä on yleensä pysyvä. (Martti Paavola, 1970, ss. 120-121)

Punkasalmen sähköaseman tapauksessa jälleenkytkentäajoiksi valittiin tyypilliset 0,3 sekuntia ja 60 sekuntia. Pikajälleenkytkentä ja aikajälleenkytkentä otetaan käyttöön Putikon ja Enanniemen lähdöissä, sillä kummallakin lähdöllä on vielä reilusti ilmajohtoja. Metsäliitto ja Punkasalmi -lähdöt taas puolestaan ovat lähes kokonaan kaapeloituja, mutta kummankin alkuosassa on sama pylväsrakenne erotinasema. Tämän takia kumpaankin lähtöön otetaan käyttöön pikajälleenkytkentä, mutta

kattavan kaapeloinnin takia aikajälleenkytkentä jätetään pois turvallisuussyistä. Finnforestin lähtö on kokonaan maakaapeloitu, joten jälleenkytkentöjä ei tarvita ollenkaan.



KUVA 3. Oikosulkuvirta jälleenkytkentäsekvenssin aikana, jossa t on releen hidastusaika

Yhdistämällä yhtälöt (11) ja (12) saadaan:

$$\left(2 * t_{max} * e^{-\frac{t_0}{\tau}} + t_{max}\right) I_{ka}^2 = I_{ks}^2 * 1 s \quad (13)$$

josta ratkaisemalla t_{max} saadaan

$$t_{max} = \frac{I_{ks}^2 * 1 s}{I_{ka}^2 * \left(2 * e^{-\frac{t_0}{\tau}} + 1\right)} \quad (14)$$

joissa

t_{max}	on	suojareleen suurin hidastusaika
t_0	on	aikajälleenkytkennän jännitteetön aika
τ	on	johdon jäähtymisaikavakio
I_{ka}	on	johtimen oikosulkuvirta solmupisteessä
I_{ks}	on	johtimen sallittu 1 sekunnin oikosulkuvirta

Lähdöille, joissa on käytössä pelkkä pikajälleenkytkentä, sievenee yhtälö muotoon

$$t_{max} = \frac{I_{ks}^2 * 1 s}{I_{ka}^2 * 2} \quad (15)$$

ja edelleen lähdöille, joissa ei ole jälleenkytkentöjä ollenkaan, sievenee yhtälö muotoon

$$t_{max} = \frac{I_{ks}^2 * 1 s}{I_{ka}^2} \quad (16)$$

TAULUKKO 9. Suurimmat sallitut releiden ylivirtalaukaisun viivästysajat normaalikytkentätilanteessa

Johtolähtö	t_{\max} (s)	Huom.
Putikko	1,33	PJK + AJK
Metsäliitto	4,73	PJK
Punkasalmi	3,88	PJK
Enanniemi	0,21	PJK + AJK
Suur-Savon Sähkö	-	
Finnforest	35,39	Ei jälleenkytkentöjä

Taulukossa 9 on kaavoilla (14), (15) ja (16) lasketut suurimmat mahdolliset aikahidastukset eri lähtöjen suojarleiden ylivirtalaukaisulle. Aikahidastusarvoissa ei ole mukana releen ja katkaisijan toimintaviivettä, joka on noin 0,1 sekuntia.

Kuten taulukosta nähdään, on johtolähtöjen tilanne hyvä Enanniemeä lukuun ottamatta. Kyseisellä lähdöllä on vain 2,3 kilometrin päässä sähköasemasta noin 230 metriä, yhteensä kolme pylsäväliä, AFS25 Fersema -ilmajohtoa, jonka terminen kestävyys on muuhun lähtöön verrattuna huono. Tästä johtuen ylivirtalaukaisun aikaviivästys saa Enanniemen suojarleellä olla maksimissaan 0,1 sekuntia.

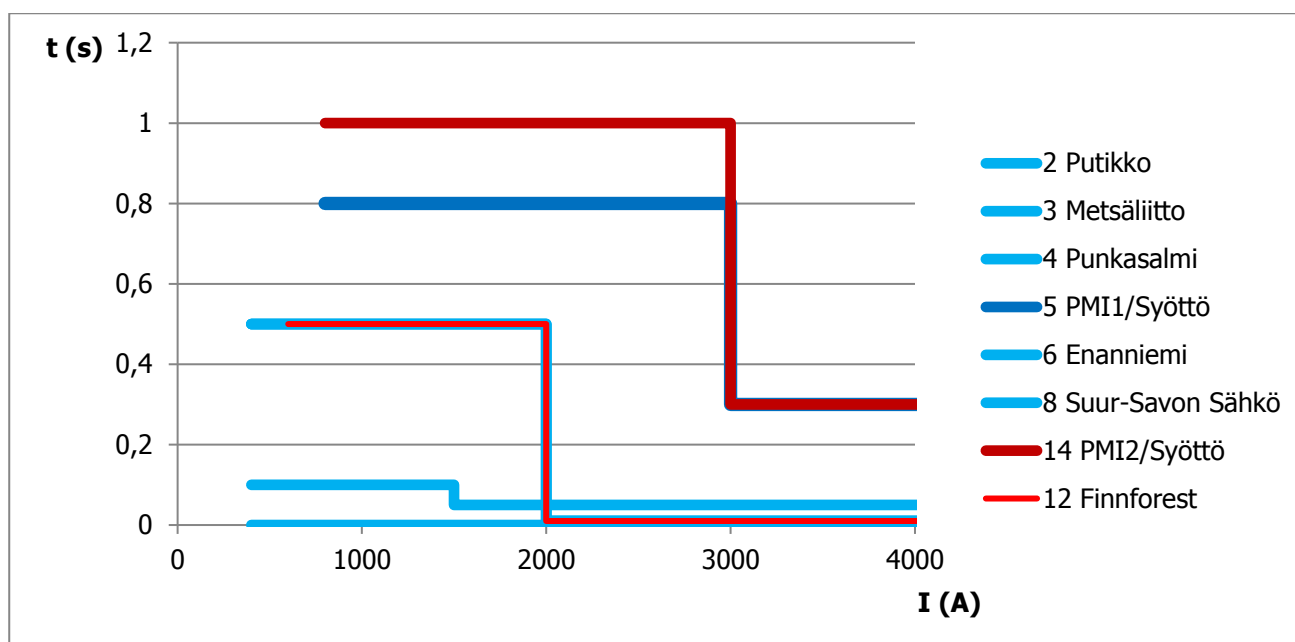
Lisäksi lähtöjen suojarleille voidaan määrittää pikalaukaisu, jolla voidaan varmistaa lähellä sähköasemaa olevien verkostokomponenttien oikosulkukestoisuus, sillä nämä komponentit joutuvat kaikin suurimpien oikosulkuvirtarasiuksien kohteeksi. Syöttökatkaisijoiden pikalaukaisu puolestaan suojaa sähköaseman omaa keskijännitekiskostoa. (Lakervi & Partanen, 2008, s. 176)

Punkasalmessa pikalaukaisun tärkeyttä korostaa aseman vieressä oleva pylsärakenteinen 11 erottimen erotinasema, jonka kautta kaikki lähdöt Finnforestia lukuun ottamatta menevät. Tämä erotinasema mahdollistaa monipuoliset korvauskytkennät, mutta se on samalla alttiina luonnonvoimille, eläimille ja linnuille. Pikalaukaisun avulla tätä erotinasemaa voidaan suojata paremmin.

Kun kaikki nämä seikat on otettu ylivirtasuojauksen osalta huomioon, voidaan tehdä yhteenveto sähköaseman ylivirtasuojauksesta taulukon 10 ja kuvan 4 mukaisesti.

TAULUKKO 10. Punkasalmen keskijännitelähtöjen ylivirtasuojausasettelu

	3I>		3I>>			
	virta (A)	aika (s)	virta (A)	aika (s)	PJK (s)	AJK (s)
Syöttö PM1	800	0,8	3000	0,3	-	-
Putikko	400	0,5	2000	0	0,3	60
Metsäliitto	400	0,5	2000	0	0,3	-
Punkasalmi	400	0,5	2000	0	0,3	-
Enanniemi	200	0,1	1500	0	0,3	60
Syöttö PM2	800	0,8	3000	0,3	-	-
Finnforest	600	0,6	2000	0	-	-



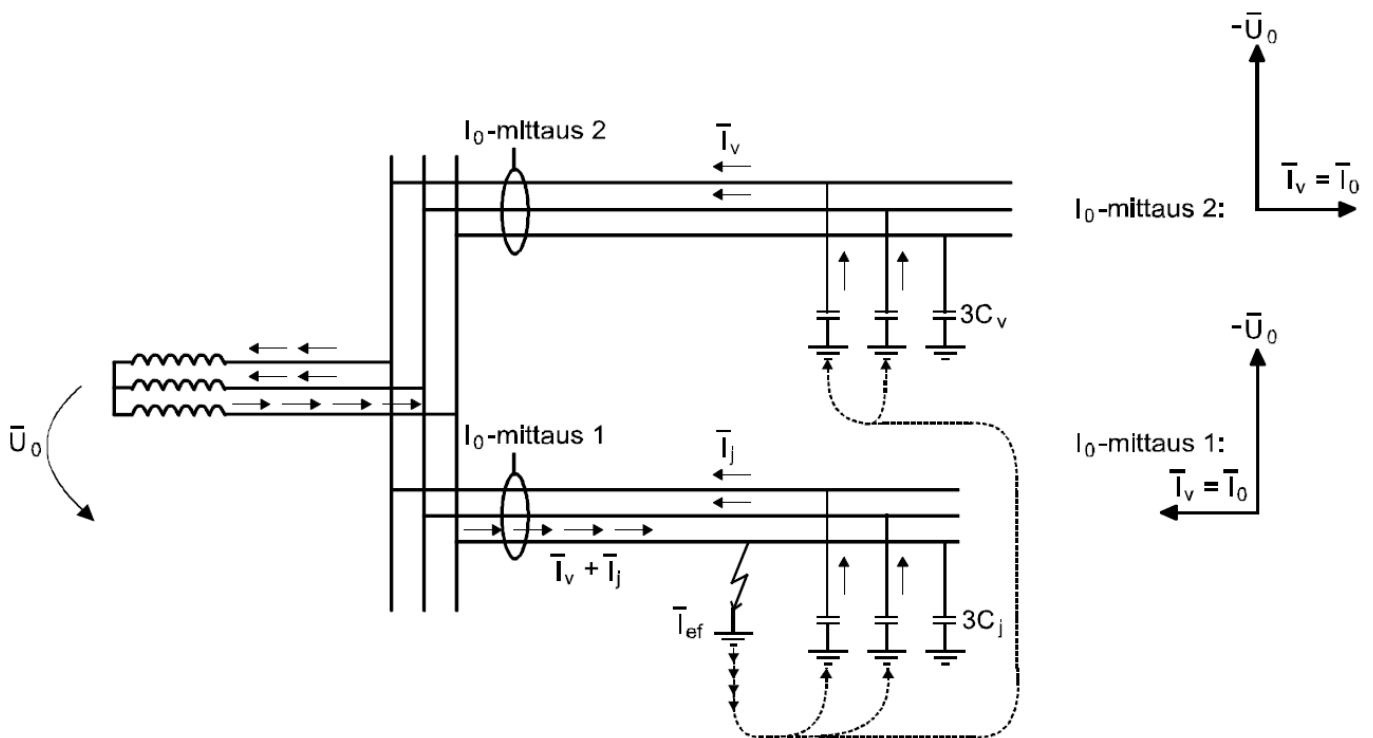
KUVA 4. Punkasalmen keskijännitelähtöjen ylivirtasuojauksen selektiivisyys

4.2.3 Maasulku

Maasulussa jännitteinen vaihejohdin kytkeytyy maahan tai muuhun maahan kytkettyyn osaan. Jos maahan kytkeytyy yhtä aikaa kaksi johdinta, on kyseessä kaksoismaasulku ja useamman johtimen tapauksessa useampinapainen maasulku. (SFS 6001, 2015, s. 28)

Maasulkutilanteessa koko galvaanisesti yhteen kytketyn verkon maakapasitanssien kautta kulkeutuu kapasitiivisia vikavirtoja vikapaikkaan. Nämä virrat saavat aikaan kaikkien vaiheiden ja verkon tähtipisteen jännitemuutoksen. Vikapaikan vikavirta saa myös aikaan niin kutsutun maadoitusjännitteen, joka taas altistaa ihmiset ja eläimet kosketusjännittelle. SFS 6001 -standardissa on määritelty tämän kosketusjännitteen suurimmat sallitut rajat, jotka riippuvat vian poiskytkentäajasta. (Lakervi & Partanen, 2008, ss. 182-187)

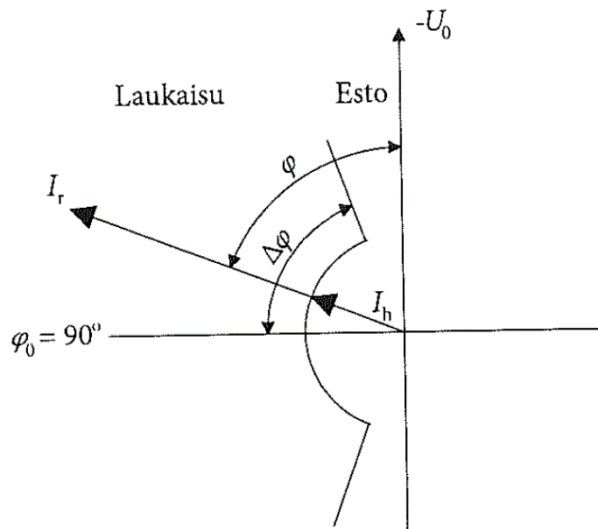
Koska Punkasalmen aseman keskijänniteverkko on maasta erotettu, käsitellään tässä työssä maasulua ainoastaan maasta erotetussa verkossa. Kyseisessä verkkotyypissä on tiedettävä koko galvaanisesti yhteen kytketyn verkon pituus, sekä johto- ja kaapelilajit, jotta maasulkusuojauksessa käytettävä maasulkuvirta ja nollajännite voitaisiin määrittää. Laskentaan tarvittavat eri johto- ja kaapelilajien maakapasitanssien arvot saadaan kaapelivalmistajien ilmoittamista taulukoista. (ABB-yhtiöt, 2000, s. 248)



KUVA 5. Maasulkuvirran muodostuminen maasta erotetusta verkosta sekä virtamittauksen näkemät virran osoittimet (ABB-yhtiöt, 2000, s. 252)

Koska maasulussa kulkeva vikavirta voi olla jopa pienempi kuin normaali kuormitusvirta, ei ylivirtasuojausta voi käyttää maasulun tunnistamiseen ja erottamiseen. Tästä syystä suojauksessa tulee erityistä suunnattua maasulkusuojausta, joka perustuu maasulun aiheuttamaan tähtipistejännitteen muutokseen sekä vaihevirtojen epäsymmetriaan. Nollavirta, joka kuvaa vaiheiden virtaepäsymmetriaa, saadaan tyypillisesti kaapelivirtamuuntajalla ja tähtipistejännite jännitemuuntajien toisioiden avokolmiokytkennästä. (Lakervi & Partanen, 2008, ss. 190-191)

Maasulkusuoja tarkkailee nollavirran, sekä nollajännitteen suuruutta, sekä niiden välistä vaihekulmaa. Vikaresistanssittomassa maasulussa nollavirran ja nollajännitteen välinen kulma on 90 °. Koska vikaresistanssi muuttaa tätä kulmaa, tulee kulma-asetteluun sisällyttää toleranssia kuvan 6 mukaisesti. Kun asetteluarvot ylittyvät, rele antaa laukaisukäskyn katkaisijalle. (Lakervi & Partanen, 2008, ss. 192-193)



KUVA 6. Maasulkusuojan virtadiagrammi (Lakervi & Partanen, 2008, s. 192)

Maasulkuvirran itseisarvo voidaan laskea kaavalla:

$$I_e = \sqrt{3}\omega C_0 U$$

(17)

jossa

I_e	on	maasulkuvirta
ω	on	kulmanopeus (2 πf)
C_0	on	verkon yhden vaiheen maakapasitanssi
U	on	verkon pääjännite

(ABB-yhtiöt, 2000, s. 248)

Edellinen kaava olettaa maasulun olevan ideaalinen, mutta todellisessa tilanteessa maasulussa on aina myös vikaresistanssia. Tämän vikaresistanssin ansiosta maasulkuvirta pienenee.

Vikaresistanssillinen maasulkuvirta voidaan laskea kaavalla:

$$I_e = \frac{\sqrt{3}\omega C_0}{\sqrt{1 + (3\omega C_0 R_f)^2}} U$$

(18)

jossa

ω	on	kulmanopeus (2 πf)
C_0	on	verkon yhden vaiheen maakapasitanssi
R_f	on	vikaresistanssi
U	on	verkon pääjännite

(ABB-yhtiöt, 2000, s. 249)

Edellä mainituilla yhtälöillä pystytään laskemaan verkon aiheuttama maasulkuvirta, kun johtolajin maakapasitanssi on tiedossa. Usein kaapelivalmistajat kuitenkin ilmoittavat johtolajin aiheuttaman

maasulkuvirran kaapelin pituusyksikköä kohden. Taulukoiden 11 ja 12 arvot on laskettu näillä valmistajien ilmoittamilla maasulkuvirran arvoilla, joista on edelleen laskettu maakapasitanssi ratkaisemalla C_0 kaavasta (17).

TAULUKKO 11. PM1-päämuuntajan syöttämän verkon johtolajit ja maasulkuvirrat

Johtolaji	I_f (A/km)	Enanniemi		Metsäliitto		Punkasalmi		Putikko		Yhteensä	
		l (m)	I_f (A)	l (m)	I_f (A)	l (m)	I_f (A)	l (m)	I_f (A)	l (m)	I_f (A)
AF131 Suursavo	0,07		0,0	24	0,0		0,0		0,0	24	0,0
AF25 Swan	0,07	5961	0,4		0,0		0,0		0,0	5961	0,4
AF40 Sparrow	0,07	8251	0,6		0,0		0,0		0,0	8252	0,6
AF63 Raven	0,07	2113	0,1		0,0		0,0		0,0	2113	0,1
AFS25 Fersemal	0,07	2938	0,2		0,0		0,0		0,0	2938	0,2
APYAKMM 3x120	3,5	7	0,0	6	0,0	6	0,0		0,0	24	0,1
AHXAMK-W 3x120+35	2,4		0,0		0,0		0,0	40	0,1	40	0,1
AHXAMK-W 3x185+35	2,8		0,0	3500	9,8	1155	3,2		0,0	4668	13,1
AHXAMK-WM 3x50+62I	1,9		0,0		0,0		0,0		0,0	0	0,0
AHXAMK-WP 3x50	1,9	695	1,3		0,0		0,0		0,0	696	1,3
AHXAMK-W 3x50+35	1,9	159	0,3		0,0		0,0	1065	2,0	1226	2,3
AHXAMK-W 3x95+35	2,3		0,0		0,0	6190	14,2	2937	6,8	9148	21,0
PAS 120	0,054	232	0,0		0,0	228	0,0		0,0	460	0,0
PAS 70	0,054	2307	0,1		0,0		0,0		0,0	2307	0,1
PAS 95	0,054	5465	0,3		0,0		0,0	5662	0,3	11128	0,6
Yhteensä		28128	3,4	3530	9,8	7579	17,5	9704	9,2	48986	40,0
Maakapasitanssi (nF)		300		860		1532		803		3503	

TAULUKKO 12. PM2-päämuuntajan syöttämän verkon johtolajit ja maasulkuvirrat

Johtolaji	I_f (A/km)	Finnforest	
		l (m)	I_f
AHXAMK-W 3x240	3,2	2698	8,6
Maakapasitanssi (nF)		756	

Maasulkusuojauksen asettelu kannalta tärkeimpiä ovat tilanteet, joissa nollavirrat ja tähtipistejännitteet ovat pienimmillään. Nollavirta on pienimmillään, kun verkko on mahdollisimman pieni ja vikaresistanssi suuri, kun taas nollajännite on pienimmillään verkon ollessa laajimmillaan ja vikaresistanssin suuri. Myös SFS 6001 -standardissa vaadittujen maadoitusjännitevaatimusten kannalta tulee tietää suurin maasulkuvirta ja maasulun laukaisuaika. Kaikki laskenta on tehty käyttäen Microsoft Excel -taulukkolaskentaohjelmistoa. (Lakervi & Partanen, 2008, ss. 193-194)

Nollajännite voidaan laskea kaavalla:

$$U_0 = \frac{U_v}{\sqrt{1 + (3\omega C_0 R_f)^2}} \quad (19)$$

jossa

U_0	on	nollajännite
U_v	on	vaihejännite
ω	on	kulmanopeus (2 πf)
C_0	on	verkon maakapasitanssi
R_f	on	vikaresistanssi

Koska nollajännite on pienimmillään, kun verkko on laajimmillaan, lasketaan nollajännite tilanteessa, jossa koko verkkoa syötetään yhden päämuuntajan kautta.

TAULUKKO 13. Pienin nollajännite 500 Ω :n vikaresistanssilla

U_0 (kV)	U_0/U_v (%)
3,84	32

Asetteluiden vaatimuksena on, että suojauksen tulee toimia selektiivisesti, mikäli kytkettynä on kaksi lähtöä. Mikäli vain yksi lähtö on kytkettynä, on lähdön summavirtamuuntajan havaitsema virta nolla ja laukaisu on tehtävä ainoastaan nollapistejännitteen perusteella syöttökatkaisijan toimesta. Lähtöjen suojareleiden havaitsemat maasulkuvirrat laskettiin tilanteissa, jossa kyseisen lähdön lisäksi on kytketty jäljelle jääneistä lähdöistä maasulkuvirraltaan pienin. Tällä tavalla saadaan pienimmät virrat, joilla releiden tulee havahtua. Kytetyn verkon maasulkuvirta voidaan laskea kaavalla (18) ja viallisen lähdön releen tuntema maasulkuvirta voidaan laskea yhtälöllä:

$$I_r = \frac{C - C_{\text{lähtö}}}{C} * I_f \quad (20)$$

jossa

C	on	kytetyin verkon maakapasitanssi
$C_{\text{lähtö}}$	on	vikaantuneen lähdön maakapasitanssi
I_f	on	maasulkuvirta

(Lakervi & Partanen, 2008, ss. 194-195)

Vikaresistanssiksi oletetaan jälleen 500 Ω .

TAULUKKO 14. Maasulkuvirrat lähdöittäin

1. lähtö	C _{lähtö1} (nF)	2. lähtö	C _{lähtö2} (nF)	C ₀ (nF)	I _{f1+2} (A)	I _{r1} (A)
Enanniemi	300	Putikko	803	1103	7,90	5,75
Metsäliitto	860	Enanniemi	300	1160	8,16	2,11
Punkasalmi	1532	Enanniemi	300	1832	10,70	1,75
Putikko	803	Enanniemi	300	1103	7,90	2,15
Finnforest	756	Enanniemi	300	1056	7,67	2,18

Punkasalmen sähköaseman alueelle tehtävien muuntopiirien maadoitusresistanssiksi on aikaisemmin määritetty 10 Ω ja maadoitusten mitoitusperiaatteeksi 2U_{TP}, joten määritetään suurin mahdollinen laukaisuaika tämän arvon perusteella.

Maasulkuvirta aiheuttaa vikapaikassa maadoitusjännitteen, joka lasketaan yhtälöllä:

$$U_m = I_f * R_m \quad (21)$$

jossa

U_m on maadoitusjännite
 I_f on maasulkuvirta vikapaikassa
 R_m on maadoitusresistanssi

(Lakervi & Partanen, 2008, s. 187)

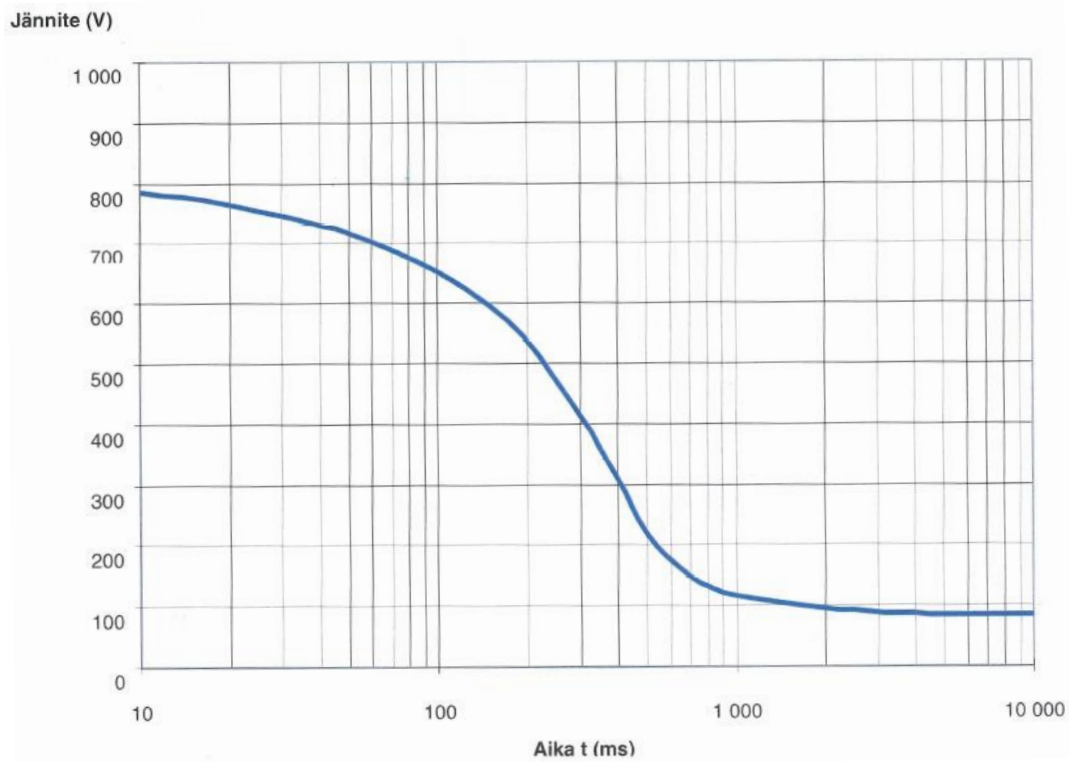
Maadoitusjännitteen ja sallitun kosketusjännitteen välillä taas pätee:

$$U_m \leq k * U_{TP} \quad (22)$$

jossa

U_{TP} on kosketusjännite
 k on verkon rakenteesta johtuva kerroin (2)
 U_m on maadoitusjännite

(Lakervi & Partanen, 2008, s. 188)



KUVA 7. Sallittu kosketusjännite U_{TP} (SFS 6001, 2015, s. 101)

Punkasalmen sähköasemalla maadoitusjännite ja sen perusteella SFS 6001 -mukainen laukaisuaika on:

$$40 \text{ A} * 10 \text{ } \Omega = \mathbf{400 \text{ V}}$$

$$U_{TP} = \frac{400 \text{ V}}{2} = 200 \text{ V}$$

$$t_{200 \text{ V}} \approx 500 \text{ ms} = \mathbf{0,5 \text{ s}}$$

Laukaisuajassa tulee ottaa huomioon myös releen ja katkaisijan toimintaviive, joka on noin 100 ms, sekä selektiivisen suojauksen vaatima porrasaika, joka on 165 ms. Näiden tietojen perusteella releasettelut voidaan maasulun osalta valita seuraavasti:

TAULUKKO 15. Maasulkusuojauksen asetteluarvot

Lähtö	$I_{oh} \text{ (A)}$	$U_{oh} \text{ (%)}$	$t_{trip} \text{ (s)}$	$\varphi_0 \text{ (}^\circ\text{)}$
Enanniemi	3	20	0,2	90±80
Metsäliitto	1	20	0,2	90±80
Punkasalmi	1	20	0,2	90±80
Putikko	1	20	0,2	90±80
Finnforest	1	20	0,2	90±80
Syöttö PM1	-	20	0,4	-
Syöttö PM2	-	20	0,4	-

Syöttökennojen laukaisu perustuu ainoastaan nollajännitteen mittaukseen ja niiden laukaisu tehdään aikaselektiivisesti suhteessa lähtöjen laukaisuun. Tällä pystytään havaitsemaan maasulku myös sähköaseman omassa kiskostossa, sekä myös siinä tilanteessa, että vain yksi lähtö on kytketty käyttöön. Samalla syöttökennojen maasulkusuojaukseen toimii myös varsinaisten lähtöjen varalaukaisuna. Aikaselektiivisyydessä on otettu huomioon pienin mahdollinen releiden ja katkaisijoiden porrasaika ja SFS 6001 -standardin mukainen laukaisuaikavaatimus, joka täyttyy myös syöttökennojen maasulkusuojan lauetessa.

Maasulun jälleenkytkentöjen ekvivalenttista aikaa ei ole tarpeen laskea, sillä maasulkuvirran termiset vaikutukset ovat oikosulkuun nähden pienet. Myöskään SFS 6001 -standardi ei vaadi jälleenkytkennän aiheuttamien maasulkutilanteiden aikojen summaamista, vaan jokaista jälleenkytkennän aiheuttamaa uutta maasulkua käsitellään erikseen.

4.2.4 Valokaari

Valokaarisuojausta käytetään sähköasemien sisätiloissa olevissa kiskostoissa. Koska sähköasemalla vikavirrat ovat suuria ja alueella on paljon arvokkaita laitteita pienessä tilassa, aiheuttavat valokaari-
viat merkittävän taloudellisen riskin, sekä myös suurta vaaraa sähköasemalla mahdollisesti työskentelevälle henkilöstölle. (ABB-yhtiöt, 2000, s. 311)

Valokaari aiheuttaa vikapaikassa erittäin voimakkaan lämpötilan nousun, joka saa aikaan rakenteiden sulamista ja höyrystymistä myrkyllisiksi kaasuisiksi, sekä mahdollisesti tulipalon. Valokaari aiheuttaa myös paineiskun, joka voi rikkoa sähköaseman rakenteita ja kojeistoja. (ABB-yhtiöt, 2000, s. 311)

Taloudellisesti ei ole kuitenkaan järkevää rakentaa kojeistoa, jossa valokaaren mahdollisuus olisi täysin poistettu. Valokaarivaurioita voidaan kuitenkin pienentää osastoimalla kojeistoja, suunnittelemalla valokaaren aiheuttamalle paineiskuille purkaukskanavia sekä minimoimalla palavien materiaalien käyttöä. Kaikkein tärkeintä on kuitenkin minimoida valokaaren vaikutusaika avaamalla vikapaikkaa syöttävä katkaisija mahdollisimman nopeasti valokaaren ilmaannuttua. Tämä valokaarisuojaus toteutetaan suojareleellä, joka havaittuaan valokaaren aiheuttaman kirkkaan valon, sekä syöttöpiSTEEN läpi kulkevan virran kasvun antaa välittömästi laukaisukäskyn syöttökatkaisijalle. Suojalaite havaitsee valon optisilla antureilla, jotka liitetään joko kupari- tai valokaapelilla suojalaitteeseen. Virtatieto puolestaan saadaan syöttökennon virtamuuntajien toisista. (ABB-yhtiöt, 2000, s. 311)

Punkasalmen sähköasemalla on kaksi erillistä kennostoa, jotka on kuitenkin sijoitettu samaan huonetilaan. Koska valokaarivika on aina vakava ja aiheuttaa mahdollisesti suurta tuhoa, on valokaari-
ilmiön tapahtuessa kumpikin kojeisto tehtävä jännitteettömäksi. Tästä syystä valokaarisuojauksen tulee antaa laukaisukäsky sekä PM1-, että PM2 -syöttökatkaisijoille yhtäaikaaisesti.

Koska valokaari-ilmiön vikaimpedanssi on aina hyvin pieni, voidaan valokaarisuojan havahtumisvir-
tana käyttää hyvin suurta arvoa, esimerkiksi 2000 A, joka on käytössä myös ylivirtasuojauksen pika-
laukaisussa.

4.3 Yli- ja alijännite

Kiskoston jännitemittaus liitetään mittauskennossa oleviin jännitemuuntajiin, josta jännitetieto jae-
taan kaikille suojarileille. Yli- ja alijännitesuojauksesta vastaa perinteisessä ratkaisussa mittausken-
noon liitetty suojarile, joka avaa syöttökatkaisijan jännitteen ylittäessä tai alittaessa asetteluarvot.
Jännitereleet tulee asettaa riittävän epäherkäksi, ettei normaalista toiminnasta, kuten jälleenkytken-
nöistä, aiheutuvat jännitekuopat aiheuta syöttökatkaisijan turhaa laukeamista. (Mörsky, 1992, ss.
38-39)

Punkasalmen kiskojaännitesuojauksessa voidaan käyttää aiemmin käytössä olleita laukaisuehtoja,
jotka ovat taulukon 16 mukaiset. Kiskojen jännitemuuntajat ovat muuntosuhteeltaan $\frac{20000}{\sqrt{3}} / \frac{100}{\sqrt{3}}$. Jän-
nitesuojaus voidaan toteuttaa erillisellä jännitereleellä, mutta se voidaan integroida myös osaksi
muuntajasuojalaitteita, jotka kuitenkin hoitavat jännitteensäädön käämikytken avulla.

TAULUKKO 16. Punkasalmen sähköaseman kiskojaännitesuojauksen asettelut

	U_n (kV)	U>		U>>		U<	
		jännite (kV)	aika (s)	jännite (kV)	aika (s)	jännite (kV)	aika (s)
Syöttö PM1	21	24	5	30	0,05	16	6
Syöttö PM2	21	24	5	30	0,05	16	6

4.4 Muuntajasuojaus

Koska päämuuntaja on sähköaseman arvokkain yksittäinen komponentti ja kriittinen sähkönjakelun
toimivuuden kannalta, tulee sen suojaukseen kiinnittää erityistä huomiota. Muuntajaviat ovat hyvin
harvinaisia, sillä niitä tapahtuu alle yksi sataa muuntajakäyttövuotta kohden. Muuntajan vikaantu-
essa, se kuitenkin todennäköisesti vaurioituu vakavasti ja sen korjaaminen on kallista ja aikaa vie-
vää. (Lakervi & Partanen, 2008, s. 189)

4.4.1 Ylivirtasuojaus

Erillistä muuntajan ylivirtasuojauksia ei tarvita käytettäessä differentiaalisuojauksia, mutta sitä voidaan
käyttää varasuojana. Mikäli differentiaalisuojauksia ei kuitenkaan ole käytettävissä, muuntajan ylivir-
tasuojaus toteutetaan yläjännitepuolen virtaa tarkkailevalla suojarileellä, jonka pikalaukaisuporras
suojaa muuntajan yläjännitepuolen ja aikahidastettu laukaisu suojaa muuntajan alajännitepuolen
kiskoston syöttökatkaisijaan asti. Tyypillisesti releen aikahidastettu laukaisu tulee asettaa vähintään
1,5-kertaiseksi muuntajan nimellisvirtaan nähden, jotta muuntajaa on mahdollista tarpeen mukaan
ylikuormittaa. (Mörsky, 1992, ss. 190-194)

Punkasalmen sähköaseman muuntajasuojaus toteutetaan differentiaalisuojauksella, joten erillistä ylivirtasuojauksta käytetään vain varalaukaisussa. Aikahidastetun portaan perusteena käytetään $I_n \cdot 1,5$ ja pikalaukaisun perusteena Fingridin ilmoittamaa pienintä 110 kV:n verkon syöttämää kaksi-vaiheista oikosulkuvirtaa, joka on taulukossa 4.

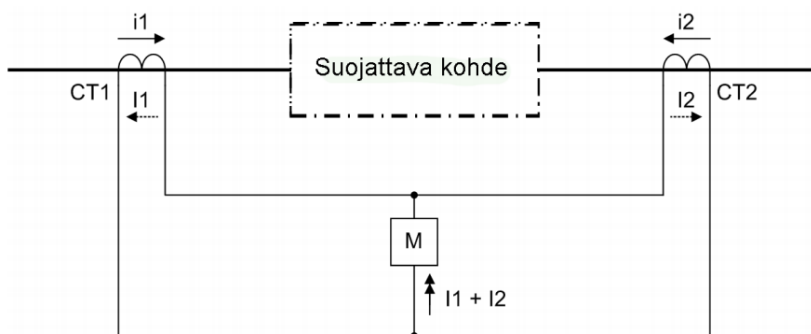
TAULUKKO 17. Päämuuntajien varalaukaisun ylivirtasuojausasettelut

	I_n (A)	$3I>$ virta (A)	aika (s)	$3I>>$ virta (A)	aika (s)
PM1	84,4	130	2	1000	0,01
PM2	84,4	130	2	1000	0,01

4.4.2 Differentiaalisuojaus

Differentiaali- eli erovirtasuojaukseen vertaillaan muuntajaan tulevaa ja muuntajasta lähtevää virtaa. Jos nämä kaksi virtaa eroavat toisistaan amplitudiltaan ja/tai vaihekulmaltaan yli sallittujen raja-arvojen, antaa suojarile laukaisukäskyn muuntajaa suojaavalle 110 kV:n katkaisijalle. Koska suojausalue rajoittuu differentiaalisuojareleeseen kytkettyjen virtamuuntajien väliin, on suojaus absoluuttisesti selektiivinen. Tällä suojaustavalla saavutetaan tarvittaessa myös hyvin suuri herkkyys, sekä nopea toiminta-aika. (ABB-yhtiöt, 2000, s. 229)

Differentiaalisuojan avulla pystytään havaitsemaan muuntajan sisäiset viat, joihin esimerkiksi kaasurele tai virtausrele eivät ole riittävän nopeita. Samalla suojataan myös muuntajan alajännitepuolen keskijännitesyöttö aina syöttökennon virtamuuntajille asti. (Mörsky, 1992, s. 195)



Kuva 8. Differentiaalisuojauksen periaate (Siemens AG, 2007, s. 108)

Vaikka suojaus on teoriassa hyvin tarkka, joudutaan asettelussa ottamaan huomioon monien eri komponenttien epäideaalisuuksia. Esimerkiksi tyhjäkäyvän muuntajan tyhjäkäyntivirta lukeutuu kokonaan erovirraksi, kuten myös muuntajan kytkentävirrasysäys. Lisäksi erovirtaa aiheuttavat käämi-kytkimen erilaiset asennot, sekä virtamuuntajien mittausvirheet. Erityisen vaikea tilanne on suojausalueen ulkopuolella tapahtuva suurivirtainen vika, joka voi aiheuttaa differentiaalisuojaan kytketyn virtamuuntajan kyllästymisen. Yhden virtamuuntajan kyllästyessä sen antama virtatieto poikkeaa merkittävästi toisen virtamuuntajan antamasta tiedosta ja tämä voi pahimmillaan aiheuttaa virhelaukaisun. Koska virtamittaukset ovat eri jänniteportaisissa ja välissä oleva muuntaja aiheuttaa virtoihin kulmansiiirtoa kytkentäryhmästä riippuen, tulee nämä seikat ottaa huomioon suojausta asettellessa.

Nykyaikaisissa numeerisissa suojareleissä tämä asettelu tehdään ohjelmallisesti. (ABB-yhtiöt, 2000, s. 230)

Keskeisimmät parametrit differentiaalisuojauksessa on erovirta ja stabilointivirta, jotka lasketaan yhtälöillä

$$I_d = |\bar{I}_1 - \bar{I}_2| \quad (23)$$

ja

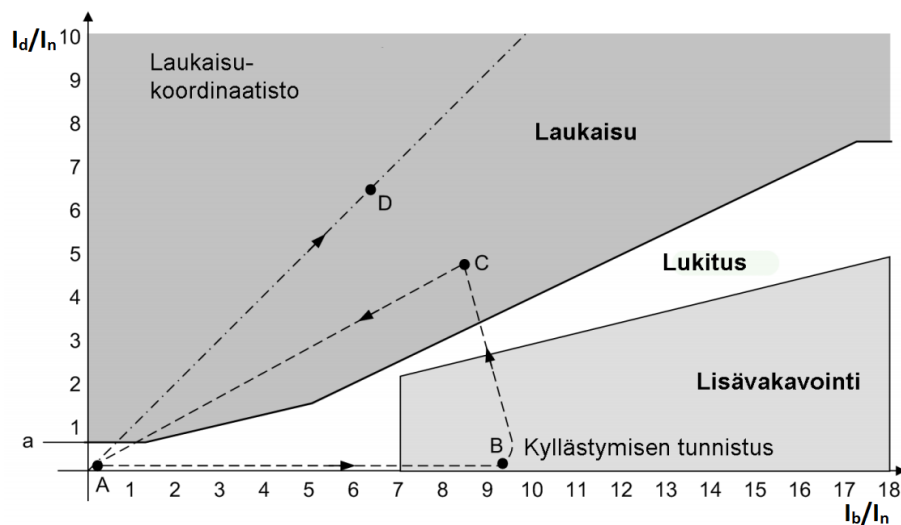
$$I_b = \frac{|\bar{I}_1 + \bar{I}_2|}{2} \quad (24)$$

joissa

I_d	on	erovirta
I_b	on	stabilointivirta
I_1	on	ensiön virta
I_2	on	toision virta

(ABB-yhtiöt, 2000, s. 230)

Erovirran ja stabilointivirran avulla määritetään differentiaalisuojan toimintakarakteristika, jolla varmistetaan suojauksen stabiili toiminta ja estetään virhelaukaisut kaikissa tilanteissa. Virhelaukauksia voidaan differentiaalisuojauksessa estää vakavoinnilla, jossa suhteellisen erovirran tulee olla sitä suurempi, mitä suurempi suojattavan kohteen läpi menevä virta on. Suurilla vikavirroilla voidaan käyttää myös lisävakavointia, jossa laukaisu estetään silloin, kun mittauspiste siirtyy lisävakavointialueen kautta laukaisualueelle. Tällainen tilanne on tyypillinen suoja-alueen ulkopuolisessa, suurivirtaisessa oikosulussa, joka aiheuttaa toisiopuolen virtamuuntajien kyllästymisen ja se on kuvattu kuvassa 9 pisteillä A, B ja C. (ABB-yhtiöt, 2000, s. 230)



KUVA 9. Erovirtasuojan laukaisuominaiskäyrä (Siemens AG, 2007, s. 109)

Koska erovirtareleen asetteluarvoja määritettäessä on käytettävä suojalaitteisto ja mittalaitteet tunnettava perinpohjaisesti ja kyseessä on koko sähkönjakelun ja muuntajasuojauksen kannalta kriittinen suoja, annetaan Punkasalmen sähköaseman relesaneerauksen yhteydessä käyttöön otettavan differentiaalisuojauksen asettelu suojalaittevalmistajille.

Päämuuntajien differentiaalisuojaa käyttöönotettaessa voidaan käyttää PM1-muuntajan osalta syöttökennossa olemassa olevia 20 kV virtamuuntajia, sillä niissä jokaisessa on kaksi toisiopiiriä. Tällä hetkellä virtamuuntajien toiset toisiot ovat kytkettynä erilliseen virtamittaukseen, joka nykyaikaisten kennotermiinalien myötä käy tarpeettomaksi. Vapaaksi jääviä toisioita voidaan taten käyttää differentiaalisuojaukseen.

PM2-muuntajan osalta tilanne on vaikeampi, sillä kyseisen muuntajan 20 kV syöttökennon virtamuuntajissa on vain yksi toisio, joka tullaan kytkemään syöttökennon kennotermiinaliin. Näin ollen differentiaalisuojaa käyttöönotettaessa joudutaan joko asentamaan toiset virtamuuntajat tai vaihtamaan olemassa olevat virtamuuntajat vähintään kahdella toisiolla varustettuihin. Lisävaikeutta tuo kyseisen kennoston hyvin tiivis rakenne, joka voi tehdä rakenteeseen sopivien virtamuuntajien löytämisestä hyvin vaikeaa. Ratkaisuna voisi olla differentiaalisuojan virtamittauksen toteuttaminen esimerkiksi ABB:n KEVCY 24 RE1 -virtasensoreilla, jotka voidaan liittää suoraan kojeiston pistokepäätteiden väliin.

4.4.3 Maasulku

Koska muuntajan yläjännitepuoli on tehollisesti maadoitettu, toimii ylivirtasuojaus myös maasulkutilanteessa suuri-impedanssisimpia vikoja lukuun ottamatta. Perinteistä nollavirtarelettä käytettäessä muuntajan yläjännitepuolella, on maasulkuvirta pelkistettävä kuormitusvirrasta. Tämän toteutukseen vaikuttaa verkon maadoitustapa, sekä muuntajan kytkentäryhmä. (Mörsky, 1992, s. 192)

Punkasalmissa maasulkusuojaus toteutetaan differentiaalisuojauksen asettelulla.

4.4.4 Jännite

Mikäli muuntaja käy nimellisvirralla ja -taajuudella, pystyy se toimimaan vielä 1,05-kertaisella nimellisjännitteellä. Tätä suuremmat jännitteet aiheuttavat muuntajan rautasydämen ylimagnetoitumisen, joka puolestaan kuumentaa itse sydäntä, sekä muita rautarakenteita. Pahimmillaan kuumeneminen voi johtaa muuntajan vahingoittumiseen. (Mörsky, 1992, s. 201)

Punkasalmen kummankin päämuuntajan nimellisjännite käämikytkimen pienimmässä asennossa on 126500 V. Tästä saadaan muuntajan maksimijännite kertoimella $I_n \cdot 1,05 = 132825$ V. Tämän arvon ylittyessä muuntajasuojan ylijännitereleen tulee laukaista muuntajan 110 kV katkaisija auki.

4.4.5 Kaasurele

Muuntajan suojauksessa yksi tärkeimmistä suojalaitteista on kaasurele, jota kutsutaan myös Buchholz-releeksi. Kyseinen rele asennetaan itse muuntajan öljytilan ja sen paisuntasäiliön väliin ja se toimii erilaisissa hitaissa, vähän kerrassaan etenevissä eristysvioissa, kuten kierros-, käämi ja maasulkujen vaikutuksesta. (Mörsky, 1992, s. 202)

Eristysvian ilmaantuessa syttyvä valokaari saa aikaan muuntajaöljyn ja eristeaineiden kiehumisen ja hajoamisen kaasuksi. Tämä kehittynyt kaasu muuntajaöljyä kevyempänä nousee ylöspäin syrjäyttäen öljyä tieltään. Koska paisuntasäiliö on muuntajan korkeimmassa kohdassa, pyrkii kaasu kerääntymään sinne. Paisuntasäiliön öljyputkeen asennettu kaasurele kuitenkin "kaappaa" nämä kaasukuplat ja releen sisällä oleva uimuri alkaa öljyn syrjäytyessä laskea ensin hälytysrajalle ja vian edelleen jatkuessa laukaisurajalle. Tällä rajalla kaasurele antaa muuntajan ylä- ja alapuolen katkaisijoille laukaisukäskyn. (Mörsky, 1992, ss. 202-203)

Punkasalmen päämuuntajien kaasureleet ovat kiinteä osa päämuuntajaa, eikä niitä tulla vaihtamaan tämän relesaneerauksen yhteydessä. Kaasureleet kytketään hälytystietojen saamiseksi muuntajasuojalaitteisiin, mutta ne antavat katkaisijoiden laukaisukäskyt itsenäisesti.

4.4.6 Virtaus- ja painereleet

Virtaus- ja painereleitä käytetään käämikytkimen suojaukseen ja käytettävän reletyyppin valinta riippuu käämikytkimen rakenteesta. Virtausreleen asennuspaikka on käämikytkimen paisuntasäiliön ja käämikytkimen välissä. Virtausrele havaitsee äkillisen öljyn syöksymisen käämikytkimestä paisuntasäiliöön ja antaa muuntajan ylä- ja alapuolen katkaisijoille laukaisukäskyn. Painerele puolestaan on kytketty käämikytkimen yläkanteen ja se nimensä mukaisesti havaitsee käämikytkimen sisäiseen paineen nousun ja paineen ylittäessä raja-arvon, antaa muuntajan ylä- ja alapuolen katkaisijoille laukaisukäskyn. (Mörsky, 1992, s. 203)

Käämikytkimen suojauksessa on myös oleellista, ettei sen anneta toimia ylivirtatilanteissa. Tämä voidaan toteuttaa ylivirtasuojan antamalla lukituksella, joka estää käämikytkimeen liitetyn jännitteensäätäjän toiminnan. (Mörsky, 1992, s. 204)

Punkasalmen päämuuntajien käämikytkimissä on käytössä painereleet ja ne ovat myös kiinteä osa päämuuntajia ja ne antavat suoraan itsenäisesti katkaisijoiden laukaisukäskyt. Kuten myös kaasureleen kanssa, myös painereleet kytketään muuntajasuojalaitteisiin hälytystiedon saamiseksi.

4.4.7 Lämpötilan valvonta

Muuntajien lämpötilaa valvotaan usein kosketinlämpömittarilla öljyn kuumimmasta kohdasta. Tässä mittaustavassa on kuitenkin puutteena se, ettei sillä saada todellista tietoa koko muuntajan kuumimmasta kohdasta, joka on käämityksen keskellä. Ratkaisuna on käyttää lämpötilan kuvaajaa, joka oi-

kein aseteltuna kertoo hyvinkin tarkasti käämien kuumimman kohdan lämpötilan, vaikka ei itse sijaitsekaan kyseisessä paikassa. Muuntajan lämpötilan seuraaminen ja erityisesti ylikuumenemisen estäminen on erittäin tärkeää, sillä pitkään jatkuessaan se saa muuntajan sisäisen eristyksen vanhenemaan ja haurastumaan paljon nopeammin. Montsingerin lain mukaan eristeiden vanhenemisen nopeus kaksinkertaistuu jokaista 8 °C:een nousua kohden. (Mörsky, 1992, s. 199) (Montsinger, 1930)

Käämin lämpötilan kuvaajassa on vastuselementti, joka toimii muuntajan käämin tavoin ja joka on myös samassa öljytilassa. Tämä vastus on liitettynä tyypillisesti muuntajan alajännitepuolella olevaan virtamuuntajaan ja vielä mahdollisesti välivirtamuuntajaan, jolla vastuksen virta sovitetaan oikeaan tasoon. Kun toisiovirran arvo kasvaa, niin kasvaa myös kuvaajan vastuselementin virta, joka oikein sovitettuna lämpenee ja jäähtyy samaan tahtiin muuntajakäämien kanssa. Lopullinen muuntajan käämien lämpötilatieto saadaan kyseisen vastuselementin lämpötilaa mittaamalla. (Mörsky, 1992, s. 199)

Punkasalmessa kumpikin päämuuntaja on varustettu käämin lämpötilan kuvaajilla. Nämä suojalaitteet pystyvät itsenäisesti antamaan laukaisukäskyn katkaisijalle, mutta hälytystiedot lämpötilasta pitää tuoda muuntajien suojalaitteille.

5 SANEERAUSSUUNNITELMA

5.1 Tavoitteet

Tavoitteena Punkasalmen sähköaseman suojareleiden saneerauksessa on uusia vanhentuneet staattiset suojareleet, sekä mahdollistaa suojauksen parempi toimivuus ja käytettävyys uusien, nykyaikaisten laitteiden avulla. Vaikka sähköasemalla onkin neljä ABB:n numeerista REF54x-sarjan kennotermiinaalia, ovat ne jo ehtineen lähes 20 vuoden ikään, joten myös ne päätettiin uusia samassa yhteydessä. Näin saadaan koko sähköaseman toisiolaitteisto kerralla samalle viivalle iän ja ominaisuuksien puolesta.

Työn alkuvaiheessa pyydettiin budjettitarjoukset sekä ABB Oy:ltä, että Arcteq Oy:ltä ja näissä tarjouksissa esitetyt laitteet antoivat pohjan jatkokehittämiselle.

5.2 Ratkaisu ABB:n laitteilla

TAULUKKO 18. ABB:n tarjouksen suojareleet

	OT2	OT3	1	2	3	4	5	6	8	12	14
	PM1	PM2	Mittaus	Putikko	Metsäliitto	Punkasalmi	Syöttö PM1	Enanniemi	Suur-Savon s.	Finnforest	Syöttö PM2
Kennotermiinaali											
Ylivirta											
Maasulku	RET630	RET630		REF615	REF615	REF615	REF615	REF615	REF615	REF615	REF615
Jälleenkytkentä											
Valokaari											
Ylijännite			REU615								
Alijännite											
Jännitteensäätäjä											
Varasuoja	REF611	REF611									

ABB:n ratkaisussa keskijännitelähtöjen ja syöttöjen suojauksessa käytetään REF615 -kennotermiinaaleja, joihin on integroitu myös valokaarisuojaus. Muuntajasuojaukseen taas käytetään RET630-kennotermiinaaleja ja niiden varasuojaukseen REF611-kennotermiinaaleja. Mittauskennoon asennetaan oma, erillinen jänniterele REU615.

Ratkaisussa huomiota herättää erillisen jännitereleen käyttö, vaikka jännitteen mittaus-, suojaus- ja säätötoiminnot pystyttäisiin toteuttamaan myös pelkästään RET630-kennotermiinaalien avulla. Lisäksi arveluttaa valokaarisuojauksen toteuttaminen kennotermiinaaleihin integroidulla ratkaisulla, sillä tämä lisää valokaarivian poiskytkentäaika erillisiin valokaarisuojalaitteisiin verrattuna.

5.3 Ratkaisu Arcteqin laitteilla

TAULUKKO 19. Arcteqin tarjouksen suojareleet

	OT2	OT3	1	2	3	4	5	6	8	12	14
	PM1	PM2	Mittaus	Putikko	Metsäliitto	Punkasalmi	Syöttö PM1	Enan-niemi	Suur-Savon s.	Finnfo-rest	Syöttö PM2
Kennotermiinaali											
Ylivirta	AQ-	AQ-		AQ-	AQ-	AQ-	AQ-	AQ-	AQ-	AQ-	AQ-
Maasulku	T257	T257		F255	F255	F255	F255	F255	F255	F255	F255
Jälleenkytkentä											
Valokaari			AQ-110P							AQ-110P	
Ylijännite											
Alijännite											
Jännitteensäätäjä											
Varasuoja	AQ-F210	AQ-F210									

Arcteqin ratkaisussa kaikilla keskijännitelähdöillä ja syötöillä on AQ-F255 kennotermiinaalit, mutta valokaarisuojaus on toteutettu erillisillä AQ-110P-valokaarireleillä. Vaikka tämä kasvattaakin laitemäärää, on se suojauksen toimivuuden kannalta integroitua ratkaisua parempi. Muuntajasuojauksesta vastaavat AQ-T257-kennotermiinaalit yhdessä AQ-F210-varasuojakennotermiinaalien kanssa. Mittauskenno jätetään ilman kennotermiinaalia, sillä kummankin kiskoston jännitemittauksesta ja suojauksesta vastaavat muuntajasuojalaitteet.

5.4 Kennotermiinaalit

Jokaista keskijännitelähtöä, syöttökennoa ja päämuuntajaa kohden asennetaan yksi kennotermiinaali, johon liitetään kaikki kyseisen suojattavan komponentin mittaus-, ohjaus- ja tilatiedot. Kennotermiinaaleihin konfiguroidaan ja asetellaan halutut suojaustoiminnot sekä määritellään muu haluttu toiminnallisuus, esimerkiksi hälytys- ja mittaustiedot. Lisäksi päämuuntajille asennetaan myös varasuojat, jotka toimivat pääasiallisen suojalaitteen vikaantuessa tai sen toiminnan muuten estyessä.



KUVA 10. ABB REF615 ja Arcteq AQ-F255 kennotermiinaalit (ABB, 2012) (Arcteq Relays Ltd., 2017)

ABB:n ja Arcteqin tarjoamien suojareleiden välistä paremmuutta on hyvin vaikea yksiselitteisesti todeta. Oleellisten suojausfunktioiden perusteella tehdyn vertailun puolesta voidaan kuitenkin sanoa, että yleisellä tasolla tyypillisesti REF615 on nopeampi laukaisultaan, mutta AQ-F255 on tarkempi

mittauksiltaan. Muilta osin normaalissa keskijännitelähdön suojaustilanteessa ne ovat toiminnoiltaan hyvin samanlaiset ja kumpikin laite tarjoaa esimerkiksi integroidun valokaarisuojauksen.



KUVA 11. ABB RET630 ja Arcteq AQ-T257 kennotermiinaalit (ABB, 2014) (Arcteq Relays Ltd., 2018)

Kuten johtolähtösuojiin tapauksessa, myös muuntajasuojauksessa laitteet ovat olennaisilta osin toimintojensa puolesta lähes samanlaisia. RET630 on edelleen toiminnoissaan hieman nopeampi, kuin AQ-T257, mutta osittain myös tarkempi. RET630 tosin ei tarjoa integroitua valokaarisuojauksia.

Budjettitarjousten perusteella releiden hinta on hyvin samalla tasolla Arcteqin ollessa hieman halvempi. Arcteqin tarjouksen hintaa tosin alentaa erillisen jännitereleen puuttuminen.

5.5 Häiriötallenteet

Häiriötallenteiden avulla voidaan tallentaa hyvin tarkasti vikatilanteiden yhteydessä esiintyneiden vikavirtojen ja jännitteiden aaltomuodot sekä kennotermiinaalin antamat ohjaukset, sekä sen vastaanottamat tilatiedot. Häiriötallenteet ovat erittäin arvokkaita erilaisten vikatilanteiden analysoinnissa ja erityisesti niistä on apua toistuvien, häilyvien vikojen ja laitteiden virhetoimintojen selvittämisessä.

Arcteqin häiriötallennin on tässä omassa luokassaan 3200 Hz:n näytteenottotaajuudellaan, sillä ABB:n kennotermiinaalit yltyvät vain 1000 Hz:n näytteenottotaajuuteen. Korkeampi näytteenottotaajuus auttaa selvittämään tarkemmin nopeita transientteja, josta voi olla apua vikatilannetta analysoitaessa.

Kummankin valmistajan häiriötallennusratkaisu kuitenkin vaatisi kehittämistä, sillä häiriötallenteen tutkiminen heti vian tapahtumisen jälkeen on melko vaivalloista. Valmistajien ajatuksena on, että tapahtuneiden vikojen häiriötallenteet lähetetään analysointipalveluun, josta tulokset saadaan muutamana arkipäivän kuluttua. Usein olisi kuitenkin paljon tarpeellisempaa saada häiriötallenteiden tieto tarkasteltavaksi sähköverkon valvomoon vikatilanteen ollessa vielä päällä. Tämä kuitenkin vaatii häiriötallenteen lataamisen työasemalle käsin konfigurointiohjelmalla suojarielelta, joka on kuitenkin liian hidasta ja vaivalloista tehtäväksi vikatilanteen aikana.

5.6 Valokaarisuojaus

Perinteinen valokaarisuojaus toteutetaan erillisellä valokaarisuojareleellä (kts. 3.1.7 VAMP 220 -valokaarisuoja), mutta nykyaikaisissa kennoterminaleissa on mahdollisuus myös integroidulle valokaarisuojaukselle, jolloin erillisiä valokaarisuojia ei välttämättä tarvita.

Erillisten valokaarireleiden puolesta puhuu kuitenkin selvästi pienempi toimintaviive. Siinä missä kennoterminaleihin integroitu valokaarisuoja antaa laukaisukäskyn tyypillisesti 10-15 ms:n päästä valokaaren syttymisestä, toimii erillinen suoja vain 2 ms:ssa. Koska valokaariviasta aiheutuvien vaurioiden rajoittamisessa tärkeintä on minimoida valokaaren palamisaika, on jokainen säästetty millisekunti tärkeä ja tämä puhuu erillisen valokaarireleen käytön puolesta. Tosin suurin tekijä virran katkaisuaajassa on katkaisijan toimintanopeus, joka on esimerkiksi ABB:n VD4 -tyhjökatkaisijalla 75 ms. (ABB Oy, 2008, s. 59) (Arcteq Relays Ltd. Finland, 2012, s. 58) (ABB, 2011a, s. 36)

Uusin kehitysaskel valokaarisuojauksessa ovat erilliset valokaarensammutuslaitteistot, joiden toiminta perustuu erittäin nopeaan kiskoston maadoittamiseen valokaaren syttyä. Tällainen laitteisto on esimerkiksi ABB:n UFES (Ultra-Fast Earthing Switch), jonka avulla valokaaren sammutusaika on laukaisukäskystä korkeintaan neljä millisekuntia. Maadoituksen ansiosta kiskoston jännite putoaa nolleen, joten valokaari sammuu ja tämän jälkeen maadoituksesta aiheutuva ylivirta saa syöttökennon ylivirtasuojauksen laukaisemaan syöttökatkaisijan, jonka jälkeen kiskosto on jännitteetön ja maadoitettu. Näin nopean valokaaren katkaisuaajan ansiosta voi kojeisto selvitä valokaariviasta jopa kokonaan ilman vaurioita. Koska UFES-laitteen nopea toiminta perustuu samanlaisiin kaasugeneraattoreihin, kuin autojen turvatyynyissä, on laite kertakäyttöinen ja vaihdettava aina laukaisutapahtuman jälkeen. (ABB AG, 2018c)



KUVA 12. ABB UFES (ABB, 2018d)

Punkasalmen sähköaseman valokaarisuojaus tullaan ensisijaisesti toteuttamaan kahdella erillisellä kiskostokohtaisella valokaarisuojareleellä, jotka antavat laukaisukäskyn kummallekin syöttökatkaisijalle, sekä muuntajien 110 kV katkaisijoille yhtäaikaaisesti. Tällä varmistetaan koko aseman sähkönsyötön katkeaminen ja varmistetaan valokaaren sammuminen kaikissa mahdollisissa kytkentätilanteissa.

Tarjouspyyntöön lisätään kuitenkin optiona ABB UFES -järjestelmä, joka tilataan riippuen sen lopullisesta kustannusvaikutuksesta. UFES-järjestelmä tarvitaan kumpaankin syöttökennoon erikseen, mutta nopean katkaisuaajan takia valokaarisuojasta voidaan tehdä selektiivinen, eikä sen tarvitse laukaista molempien kiskostojen suojausta yhtäaikaaisesti. UFES-suojan tarvetta voi myös perustella Punkasalmen sähköaseman kriittisyydellä sähköntoimituksen varmuuden kannalta, sillä nykyisellään sitä on mahdotonta korvata. Mahdollisen valokaarivian aiheuttamien vahinkojen seurauksena sähköasema voisi joutua olemaan korjattavana kauankin, mikäli UFES-laitetta ei asenneta.

5.7 Muuntajaöljyn kunnon jatkuva tarkkailu

Koska muuntaja on sähköaseman kallein yksittäinen komponentti, on sen kunnon tarkkailuun ja vikojen ennakointiin kiinnitettävä erityistä huomiota. Perinteiset kaasu- ja virtausreleet eivät välttämättä anna hälytystä riittävän aikaisessa vaiheessa, jotta muuntajat sisäisiin vikoihin voitaisiin reagoida ennen vian muuttumista akuutiksi. Tähän ongelmaan vastaa ABB CoreSense muuntajaöljyn kaasuanalysaattori. (ABB AB, 2016, s. 1)



KUVA 13. ABB CoreSense (ABB AB, 2016, s. 1)

CoreSense mittaa jatkuvasti muuntajaöljyssä olevan kosteuden ja vedyn määrää kierrättämällä muuntajaöljyä mittausantureiden kautta pienen lämmitysvastuksen aiheuttaman luonnonkierron avulla. Kosteus yhdessä hapen ja kohonneen lämpötilan kanssa aiheuttaa eristerakenteiden ennenaikaista vanhenemista ja vety taas on lähes aina ensimmäinen kaasu, jota muuntajan sisäinen, piilevä vika aiheuttaa. Näiden ominaisuuksien tasoja ja erityisesti muutosnopeutta mittaamalla saadaan hyvä arvio muuntajan todellisesta kunnosta ja parhaimmillaan alkaviin vikoihin voidaan reagoida päiviä tai jopa viikkoja etukäteen. Analysaattori asennetaan päämuuntajan tyhjennysventtiiliin ja sen käyttöiän arvioidaan olevan vähintään 15 vuotta. (ABB AB, 2016, s. 7)

Punkasalmen sähköasemalla on kaksi päämuuntajaa, joten tarvetta olisi kahdelle kaasuanalysaattorille. Laitteet pystytään liittämään suoraan IEC 61850 -tietoliikenneväylään, jolloin se saadaan helposti osaksi sähköasema-automaatiota ja kaukokäyttöjärjestelmää. Koska Punkasalmen sähköaseman korvauskytkentä on nykyisellään mahdotonta, tulisi sähkönsyötön varmistamiseksi päämuuntajien kunto olla tarkkaan tiedossa. Katastrofaalinen muuntajavika voi pahimmillaan aiheuttaa pitkän

käyttökäskytyksen koko sähköasemalle, joten tällaisen vian ennakoiminen on ensiarvoisen tärkeää. Laitteet pyydetään tarjouspyynnössä optiona, jonka valitsemiseen vaikuttaa järjestelmän lopullinen tarjottu hinta.

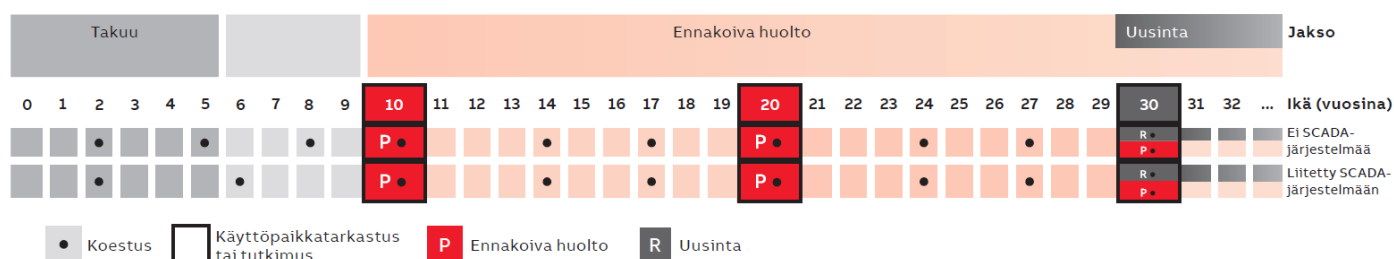
5.8 Laitteiden elinkaarimalli ja ennakkohuolto

ABB:n mukaan tänä päivänä laitteiston huollossa ja korjauksessa pätee seuraavat seikat:

- Noin 70 % kaikesta huollosta on suunnittelematonta (reaktiivista)
- Suunnittelematon huolto on 1,5-6 kertaa kalliimpaa kuin suunniteltu huolto
- Jopa 30 % suunnitellusta huollosta on tarpeetonta
- Häiriöiden syyt ja niihin käytettyä aikaa ei raportoida
- Jopa 10 % vuosittaisista investoinneista käytetään ennenaikaisesti hajonneiden laitteiden korvaamiseen
- Jopa 25 % toimihenkilöiden työpanoksesta liittyy puutteelliseen omaisuudenhallintaan

(Lindholm, 2018)

Kuten yllä olevasta luettelosta nähdään, on omaisuudenhallinnalla suuri taloudellinen merkitys sähköverkkoyhtiön toiminnan kannalta. Yksi tämän omaisuudenhallinnan osioista on laitteiden elinkaarimalli, jonka avulla voidaan paremmin ennustaa tulevien laitehuoltojen ajankohtaa ja tarvetta.



KUVA 14. SPACOM ja REX5__ -sarjan suojauslaitteiden suositellut huoltovälit (ABB, 2018e)

ABB tarjoaa elinkaarimallinsa mukaisesti SPACOM ja REX5__ -sarjojen suojauslaitteille ennakkohuoltoa tehtäväksi 10 vuoden välein. Perusajatuksena on tehdä suojauslaitteelle kaksi ennakoivaa huoltoa niiden eliniän aikana ja uusia laitteet niiden tullessa 30 vuoden ikään. Tällä menettelyllä varmistetaan releiden toimivuus, jotta yllättäviltä ja suunnittelemattomilta saneeraustarpeilta vältyttäisiin. Ennakkohuollon yhteydessä laitteiden virransyöttömoduulit vaihdetaan, sekä binääritulot ja -lähdet testataan sekä tarvittaessa myös niiden moduulit vaihdetaan. (ABB, 2018e, s. 3)

Punkasalmen sähköaseman kannalta ei ennakoivan huollon tekeminen ole järkevää, sillä suurin osa toisolaitteista on jo ominaisuuksiltaan vanhentuneita ja kolme ennakkohuolto-ohjelman kanssa yhteensopivaa laitetta ovat jo lähes 20 vuotta vanhoja. Tässä tilanteessa koko toisilaitekannan korvaaminen uusilla laitteilla on kaikkein järkevintä.

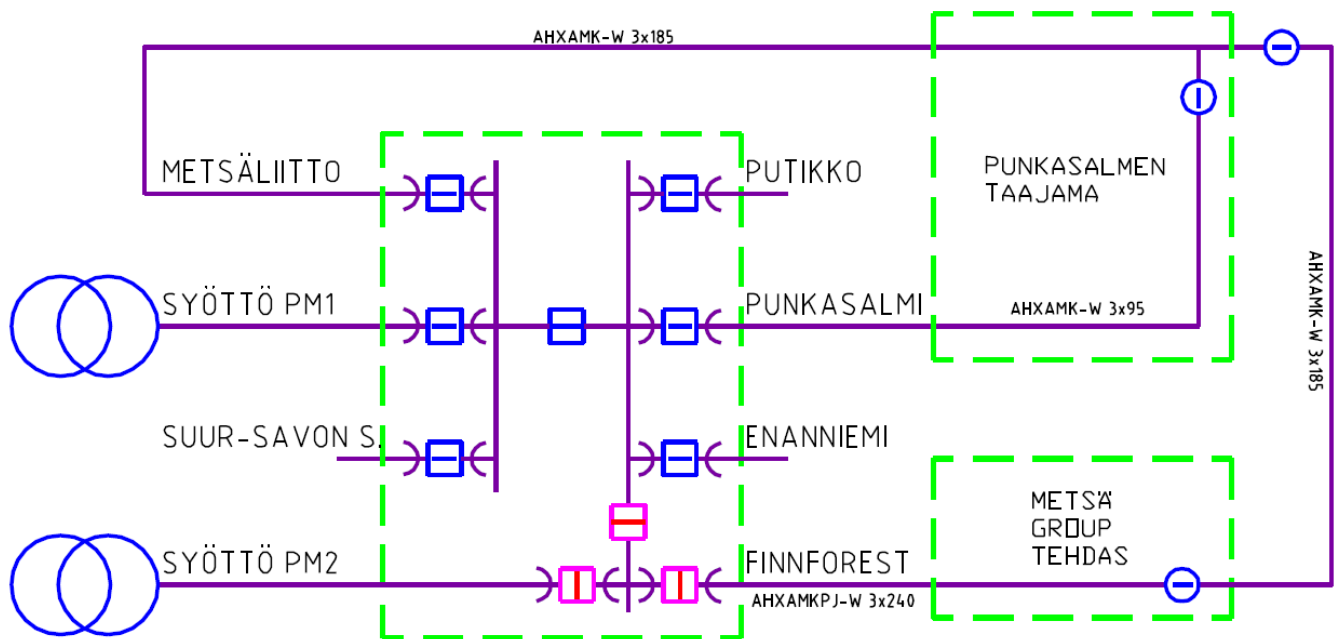
REx6__-sarjan laitteet ovat olleet markkinoilla vasta niin vähän aikaa, ettei niille ole vielä olemassa ennakkohuolto-ohjelmaa. Oletettavasti ennakkohuolto-ohjelma on kehitteillä ja se julkaistaan lähi-vuosina. Todennäköisesti myös huoltoaikataulu säilyy samankaltaisena SPACOM ja Rex5__ -sarjojen laitteiden kanssa huoltovälin ollessa 10 vuotta ja laitteen odotetun eliniän 30 vuotta.

5.9 Saneerauksen ajankohta ja työvaiheet

Punkasalmen sähköasemaa ei pystytä normaalissa käyttötilanteessa täysin korvaamaan muiden sähköasemien avulla. Tämä johtuu sähköasemalta syötettävästä Metsä Groupin vaneri- ja kertopuutehtaasta, jonka huipputeho normaalikäynnissä (laajennuksen jälkeen 10,5 MW) on liian suuri siirrettäväksi sähköasemien välisiä pitkiä ilmajohtoja pitkin ilman merkittävää jännitteenalenemaa.

Ensimmäinen vaihtoehto ongelman ratkaisuun on ajoittaa saneeraus samaan aikaan kertopuutehtaan huoltoseisokin kanssa. Huoltoseisokin aikana tehdään sähkönkulutus on merkittävästi pienempi ja tällöin koko Punkasalmen sähköaseman korvaaminen on mahdollista muiden sähköasemien avulla. Asiaa auttaisi edelleen, mikäli huoltoseisokki olisi kesällä, jolloin myös muu sähkön kulutus olisi pienempää vähentyneestä lämmitystarpeesta johtuen. Tässä vaihtoehdossa etuina on mahdollisuus suorittaa kaikki työt yhdellä kertaa, mutta töiden tulee edistyä sulavasti ja ongelmattomasti, ettei kertopuutehtaan käynnistymistä jouduta viivästyttämään. Kulutustietojen perusteella kertopuutehtaan seisokit kestävät kuitenkin vain muutamasta tunnista noin vuorokauteen, joka ei ole riittävä aikaikkuna edes tehdasta syöttävän laitteiston saneeraukseen.

Toinen vaihtoehto on tehdä työt kahdessa eri vaiheessa. Tehtaan syötön pystyy töiden ajaksi korvaamaan lähtöjen "Punkasalmi" ja "Metsäliitto" -avulla myös tehtaan ollessa normaalissa tuotantokäytössä. Tällöin saneeraustyöt voitaisiin tehdä ensin PM2-muuntajan syöttämissä kennoissa ja tämän jälkeen PM1-muuntajan syöttämissä kennoissa, tai toisin päin. Tässä ratkaisussa etuina on vapaampi aikataulu saneerauksen suorittamisen kanssa, mutta töiden tekeminen on haastavampaa, kun koko asemaa ei saada kerralla irrotettua verkosta, vaan osa keskijännitekiskostosta on käytössä töiden aikana. Tämä on huomioon otettava tekijä myös työturvallisuuden kannalta. Lisäksi kertopuutehtaan korvauskytkennässä korvaavien lähtöjen kaapelit joutuvat toimimaan lähellä äärirajojaan, jota voidaan pitää riskialttiina.



KUVA 15. Finnforest-lähdön korvauskytkentä

Näistä vaihtoehtoista kuitenkin jälkimmäinen on ainut vaihtoehto kertopuutehtaan seisokkiaikojen ollessa liian lyhyitä. Työn vaiheet tulevat olemaan seuraavat:

1. Asennetaan uusi ala-asema ja alustetaan tietoliikenneyhteydet toimintaan
2. Korvataan tehtaan syöttö Punkasalmen taajaman kautta
3. Tehdään PM2-muuntajan takainen kiskosto jännitteettömäksi
4. Suoritetaan asennustyöt kennoissa 9-14 ja OT3 (PM2 muuntajasuoja)
5. Otetaan käyttöön ja koeistetaan kennot 9-14 ja OT3
6. Palautetaan tehtaan korvauskytkentä normaalitilaan, syöttö Finnforest-lähdön kautta
7. Korvataan kennojen 1-8 syöttämät alueet Särkisalmen sähköasemalta
8. Tehdään PM1-muuntajan takainen kiskosto jännitteettömäksi
9. Suoritetaan asennustyöt kennoissa 1-8 ja OT2 (PM1 muuntajasuoja)
10. Otetaan käyttöön ja koeistetaan kennot 1-8 ja OT2
11. Palautetaan korvauskytkentä normaalitilaan.

Koska Metsä Groupin vaneri- ja kertopuutehtaan sähkönsyötön toimivuus on ensisijaisen tärkeää, tulisi korvauskytkentää testata ennen sähköaseman saneerausta. Aikaisemmin korvaus on voitu tehdä "Metsäliitto"-lähdön kautta, mutta tehtaan laajennuksen jälkeen se ei ole enää mahdollista, sillä kyseisen lähdön kaapeleiden virtakestoisuus voi ylittyä. Verkkotietojärjestelmän laskennan mukaan kuitenkin lisäämällä "Punkasalmi"-lähtö "Metsäliiton" rinnalle, olisi korvaaminen mahdollista. Tällöin lähtöjen kautta kulkevat virrat jakautuisivat erisuurien impedanssien takia suhteessa 2:1, eikä kummankaan lähdön kaapeleiden pitäisi ylikuormittua. Virrat ovat kuitenkin niin suuria ja mahdollisesti lähellä kaapeleiden suurimpia kuormitusvirtoja, että kytkennän testaaminen ja virtojen tarkka mittaaminen on tarpeellista. Myös korvauskytkennän aikaisen päivystäjän tulee olla tarkasti perehdytetty korvauskytkennän toteutukseen mahdollisten vikatilanteiden varalta ja yhteydenpidon tehtaan käyttöhenkilöstöön täytyy olla ennalta suunniteltua.

Mikäli saneeraustyö tehdään kesällä, voivat lähtöjen todelliset kuormitusvirrat olla huomattavasti matalammat. Tällöin Punkasalmen taajama voi olla mahdollista korvata myös tehdasalueen kautta syötettynä, jolloin taajaman sähköjakelusta saadaan toimitusvarmempi Särkisalmen sähköasemalta syötettyyn ratkaisuun verrattuna.

5.10 Saneeraussuunnitelman yhteenveto

TAULUKKO 20. Saneeraussuunnitelman suoja-alueet

	OT2	OT3	1	2	3	4	5	6	8	12	14
	PM1	PM2	Mittaus	Putikko	Metsäliitto	Punkasalmi	Syöttö PM1	Enanniemi	Suur-Savon s.	Finnforest	Syöttö PM2
Kennotermiinaali											
Ylivirta											
Maasulku	RET630	RET630		REF615	REF615	REF615	REF615	REF615	REF615	REF615	REF615
Jälleenkytkentä											
Valokaari			REA101							REA101	
Ylijännite											
Alijännite											
Jännitteensäätäjä											
Varasuoja	REF611	REF611									

Laitteet

- Suoja-alueet keskijännitelähdöille ja –syötöille ABB REF615 (8 kpl, kennot 2-6, 8, 12 ja 14)
- Suoja-alueet päämuuntajille ABB RET630 (2 kpl)
- Varasuojat päämuuntajille ABB REF611 (2 kpl)
- Erilliset valokaari-alueet kummallekin kiskostolle ABB REA 101 (2 kpl)
- PM2 Syöttökennon virtasensorit muuntajasuojausta varten KEVCY 24 RE1 (3 kpl)
- Keskijännitekatkaisijat UTU-kojeistoon ABB VD4 (5 kpl, kennot 3-6 ja 8)
- Ala-asema ABB COM600
- Tietoliikennekytkin
- Kennoston ovet tai ovisovitit

Optio 1

- ABB UFES syöttökennoihin (2 kpl)

Optio 2

- ABB CoreSense päämuuntajiin (2kpl)

Työt

- Purku- ja asennustyöt
- Suoja-alueiden konfigurointi ja käyttöönotto
- Sähköasemakuvan tekeminen MicroSCADA Pro -kaukokäyttöön
- Muuntajasuojauksen laskenta
- Muutosten dokumentointi

Suojaus

- Lähtöjen suojaus
 - Suuntaamaton ylivirta
 - Suunnattu maasulku
 - Jälleenkytkentä
- Syöttöjen suojaus
 - Suuntaamaton ylivirta
 - Suuntaamaton maasulku
 - Ylijännite
 - Alijännite
- Päämuuntajien suojaus
 - Suuntaamaton ylivirta
 - Erovirta
 - Maasulku
 - Ylijännite
 - Käämin lämpötilan kuvaaja (hälytys + laukaisu, ulkoinen)
 - Öljyn lämpötila (hälytys + laukaisu, ulkoinen)
 - Öljyn korkeus (hälytys + laukaisu, ulkoinen)
 - Kaasurele (muuntaja) (hälytys + laukaisu, ulkoinen)
 - Painerele (käämikytin) (hälytys + laukaisu, ulkoinen)

Toiminnallisuus

- Aseman sisäinen liikenne toteutetaan IEC 61850:lla, kaukokäyttö IEC 60870-5-104:lla
- Jännitteensäätäjät integroidaan RET630-kennoterminaaleihin
- Hälytyskeskus integroidaan RET630-kennoterminaaleihin
- Perinteisen valokaarisuojan tulee toimiessaan laukaista koko sähköasema jännitteettömäksi.
- UFES asetellaan toimimaan selektiivisesti siinä kiskostossa, jossa valokaari havaitaan.
- Häiriötallenteiden siirto valvomoon

Aikataulu

- Saneeraus voidaan toteuttaa vuoden 2019 touko-syyskuun aikana.
- Työt aloitetaan PM2-muuntajan syöttämästä kiskostosta (Kennot 9-14) ja vasta tämän osuuden valmistuttua aloitetaan työt PM1-muuntajan syöttämän kiskoston puolella (Kennot 1-8).

Muuta

- Sähköaseman omakäyttöjännite 110 V DC
- PM2 differentiaalisuojaus tarvitsee toiset virtamuuntajat, sillä syöttökennossa olevissa virta-muuntajissa on vain yksi toisio (laitelistassa KEVCY 24 RE1)
- Suur-Savon Sähkö -kennosta tehdään varakenno, jonka laitteet asennetaan ja konfiguroidaan kuten muutkin kennot, mutta lähtevä keskijännitekaapeli jätetään kytkemättä
- PM1:n mahdollista CoreSense-kaasuanalysointin asennusta varten joudutaan muuntajalta läh-tevän keskijännitekiskoston tukirakennetta muuttamaan asennuksen mahdollistamiseksi

6 POHDINTA

6.1 Relesaneerauksen hyödyt

Saneeraamalla sähköaseman suojareleet parannetaan koko sähköaseman käytettävyyttä, sekä varmistetaan laitteiston toimivuus myös tulevaisuudessa. Ikääntyvän laitteiston vikaantumisalttius kasvaa ajan myötä, eikä laitteiden valmistuksen loppumisen myötä korvaavia laitteita ole välttämättä saatavilla. Tämä voi pahimmillaan johtaa pitkiin käyttökeskeytyksiin, epänormaaleihin käyttötilanteisiin tai hyvin kalliisiin suunnittelemattomiin pikakorjauksiin. Suunnittelemalla relesaneerauksen huolellisesti ennakoon voidaan välttyä vanhan laitekannan aiheuttamilta yllättäviltä ongelmilta.

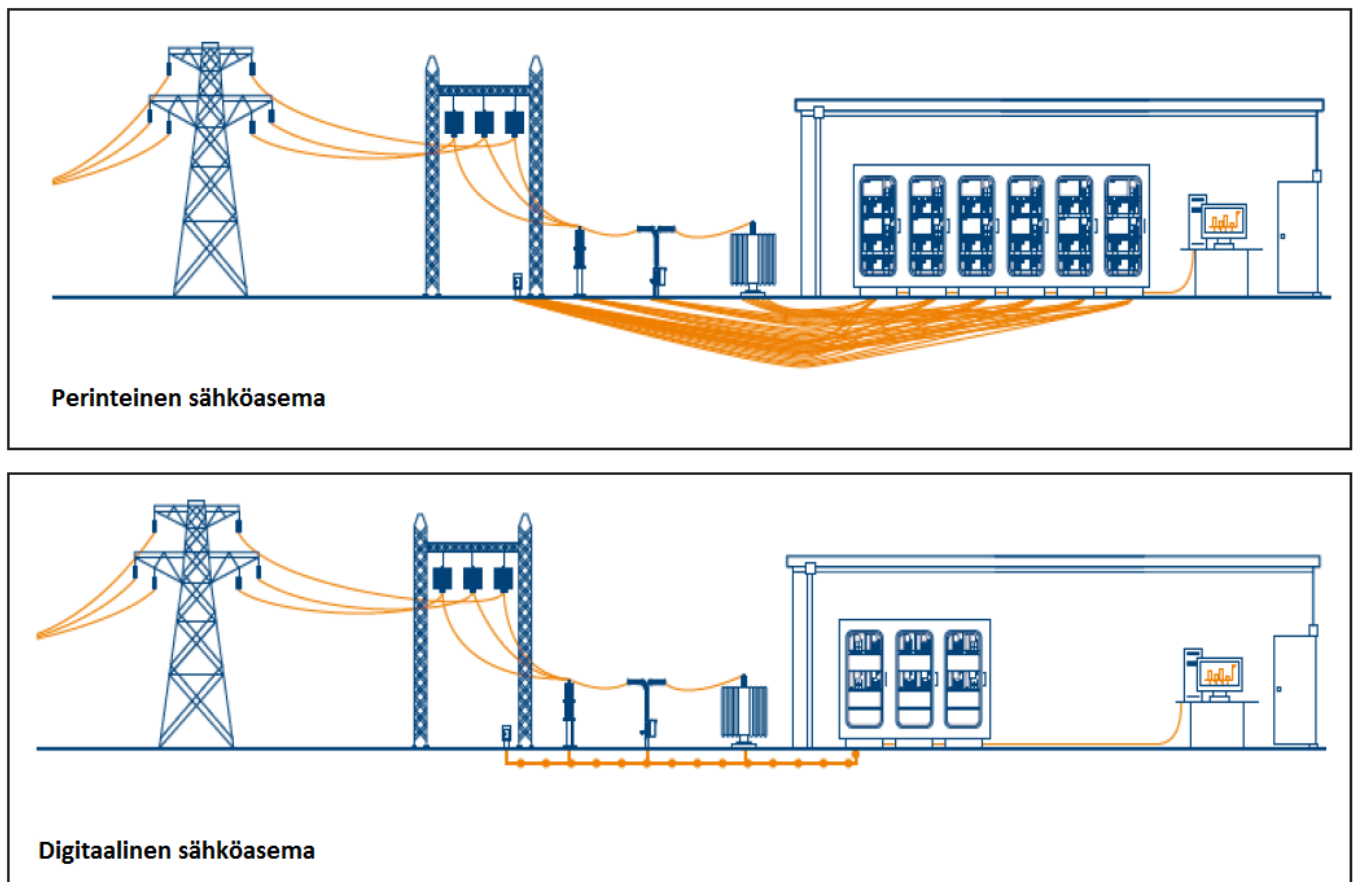
Uutta laitteistoa käyttöönotettaessa voidaan mahdollisesti ottaa käyttöön myös kokonaan uusia ominaisuuksia, joiden toteuttaminen vanhalla laitekannalla olisi ollut hyvin vaikeaa tai jopa mahdotonta. Laajemman saneerausprojektin yhteydessä kannattaa myös selvittää tarpeita kokonaan uudenlaisten laitteiden hankinnalle, sillä laitteiden käyttöön ottaminen suuremman projektin yhteydessä on halvempaa ja helpompaa, kuin myöhemmin erikseen hankittaessa.

6.2 Relesuojaus tulevaisuudessa

Sähköaseman laitteiston ja automaation kehityksessä näyttää olevan selkeä suuntaus pyrkiä lisäämään erilaisten laitteiden integrointia toisiinsa ja täten pienentämään laitemääriä. Samalla myös tiedonsiirtoa pyritään alati enemmän digitalisoimaan, joka vähentää ja helpottaa sähköaseman johdotusta.

Itse relesuojaus kuitenkin tuskin tulee häviämään tai periaatteeltaan edes muuttumaan kovin paljoa tulevaisuudessa. Vaikka laitteisiin integroidaankin uusia toiminnallisuuksia ja niiden ominaisuudet tulevat varmasti laajenemaan tulevaisuudessa, tulee suur- ja keskijännitesuojaus tulevaisuudessakin perustumaan erilaisten katkaisijoiden ja suojalaitteen- tai releen yhteistoimintaan. Katkaisijaa tarvitaan aina, kun käytetyt virrat ja jännitteet ovat riittävän suuria ja tarvitaan nopeaa ja luotettavaa

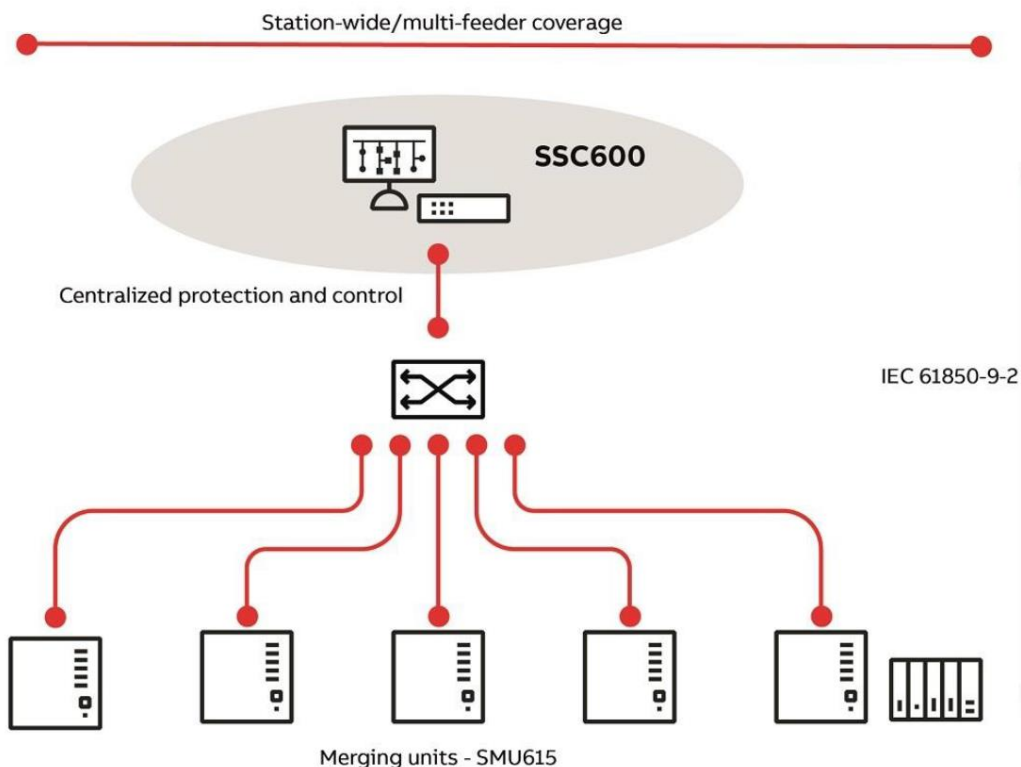
6.2.1 Digitaalinen sähköasema



KUVA 16. Digitaalisen sähköaseman havainnekuva (Kunsman, 2018)

ABB:n konsepti digitaalisesta sähköasemasta käsittää IEC 61850-viestintästandardin viemisen aina sähköaseman kentällä oleviin ensilaitteisiin asti. Nämä mitta- ja toimilaitteet pystyvät siten viestimään suoraan digitaalisesti Ethernetin yli käyttäen joko kuparisia tai optisia tietoliikennekaapeleita tai kokonaan langattomasti. Tämä ratkaisu vähentää sähköasemarakennuksen ja ulkokentän välistä kaapelointia jopa 80 %, kun jokaista erillistä mitta- ja ohjaustietoa ei tarvitse tuoda omana johtoparinaan aina ensilaitteilta toisilaitteille. Myös laitteiston asennus ja käyttöönotto nopeutuvat, sekä muunneltavuus paranevat huomattavasti.

6.2.2 Keskitetty suojaus



KUVA 17. Keskitetty suojaus (ABB Oy Distribution Solutions, 2018a)

ABB:n keskitetyn suojauksen ratkaisussa kaikki suojaustoiminnot on keskitetty yhteen SSC600-laitteeseen. Perinteisten suojarleiden tai kennotermiinaalien tilalla on SMU615 "Merging Unit" -laitteita, jotka vain välittävät SSC600:lle mitta- ja tilatietoja sekä antavat toimintakäskyjä erilaisille toimilaitteille, mutta eivät itse ota kantaa suojaustoimintoihin. Mittaustiedot, kuten virrat ja jännitteet, voidaan tuoda myös IEC 61850-standardin mukaisena SMV-viestinä digitaalisesti suoraan sensorimittalaitteilta. jolloin perinteisiä analogisia mittamuuntimia ei tarvita. Ratkaisun avulla sähköaseman hallinta helpottuu, kun konfiguroitavia laitteita on vain yksi. Suojaus saadaan myös helposti kahdennettua lisäämällä toinen SSC600-hallintayksikkö ensimmäisen rinnalle. (ABB Oy Distribution Solutions, 2018a)

6.2.3 Pidemmälle viety integraatio

Yhdistämällä aiemmin mainitut tekniikat digitaalisesta sähköasemasta ja keskitetystä suojauksesta, olisi mahdollista rakentaa keskijännitekatkaisija, jossa kaikki mitta- ja ohjaustoiminnot olisi integroitu samaan laitteeseen. Nämä katkaisijat yhdistettäisiin IEC 61850 -standardin mukaiseen tietoliikenneväylään Ethernetillä, jonka kautta keskitetty suojaus- ja ohjauslaite hallitsisi koko sähköase-

man toimintaa ja toimisi samalla myös kaukokäytön ala-asemana. Tällaisella ratkaisulla saavutettaisiin mittavat kustannussäästöt laitekannan pienentyessä sekä tila- ja johdotustarpeiden vähentyessä.

Tällainen laitteistoratkaisu myös vähentäisi selvästi mahdollisia vikapaikkoja toisilaitteiden määrän ollessa pienempi. Katkaisijakokonaisuuden jonkin osan vikaantuessa pystyttäisiin koko katkaisijavaunu vaihtamaan kerralla, kun kaikki tarvittava laitteisto on yhdessä paketissa ja suojausasettelu ja konfiguraatio on tallessa keskitetyssä suojauslaitteessa. Tämän jälkeen vikaantuneen katkaisijavaunu voitaisiin lähettää valmistajalle korjattavaksi, tai vaihtaa rikkoontunut osamoduuli paikan päällä. Vikasietoisuutta voitaisiin myös lisätä kahdentamalla tietoliikenneverkko, sekä keskitetyn hallinnan keskusyksikkö. Äärimmäisen vikasietoisessa ratkaisussa keskitettyjä suojalaitteita voisi olla kolme, jotka kaikki toimisivat yhtäaikaaisesti rinnakkain. Tällöin suojauksen laukaisukäskyt päätettäisiin äänestyksellä, jossa vähintään kahden laitteen tulisi antaa laukaisukäsky, että katkaisijan aukiohjaus toteutetaan. Tällä ratkaisulla saadaan eliminointua laitteiden virhetoiminnoista johtuvat ylimääräiset laukaisut, sekä varmistettua suojauksen toimivuus myös yhden keskitetyn suojauslaitteen vikatilanteessa.

Valitettavasti vielä yhdelläkään valmistajalla ei ole kaikkia näitä seikkoja kattavaa kokonaisratkaisua tarjota markkinoille.

7 YHTEENVETO

7.1 Tehtävänanto ja tavoitteet

Opinnäytetyön aihetta valmisteltaessa relesaneerauksen kohteeksi päätettiin Parikkalan Valo Oy:n Punkasalmen sähköasema sen vanhentuneen toisilaitteiston takia. Tehtävänä oli etsiä toimiva ja kustannustehokas kokonaisratkaisu kyseisen sähköaseman toisilaitteiden saneeraamiseksi, sekä koostaa tästä tarjouspyyntökelpoinen tietopaketti. Mukaan otettiin myös tarvittavien suojausasetteluiden laskenta. Tavoitteena oli saada työ valmiiksi ja tarjouspyynnöt lähtemään elokuun 2018 loppuun mennessä. Saneeraus päätös tarjousten pohjalta rajattiin kuitenkin työn ulkopuolelle.

7.2 Työn suorittaminen

Työ aloitettiin kartoittamalla olemassa olevat laitteet, sekä niiden kunto ja toiminnallisuus. Näiden tietojen pohjalta määritettiin laitteet, jotka tulisi korvata uusilla. Ennakkoon oli jo tiedossa, että suurin osa laitteistosta on hyvin vanhaa ja erityisesti IEC 61850 -protokollan käyttöönottoaminen sähköasema-automaation viestiväylänä pakotti automaattisesti vaihtamaan suurimman osan sähköaseman laitekannasta uudempiin. Nekin laitteet, jotka olisi ollut teknisesti mahdollista päivittää uuteen väyläarkkitehtuuriin, olivat jo käyttöikänsä päässä, joten parhaimmaksi ratkaisuksi nähtiin päivittää koko toisilaittekanta uusilla laitteilla.

Uusien suojalaitteiden toimittajaa puntaroitiin ABB:n sekä Arcteqin laitteiden välillä. Vaikka Arcteqin laitteet osoittautuivatkin monelta kantilta mielenkiintoisiksi, valittiin lopulliseksi laitetoimittajaksi ABB pääasiassa toisilla sähköasemilla jo käytössä olevan laitekannan, sekä myös ABB:n laitteiden tunnetavuuden perusteella.

Viimeisenä vaiheena oli kaikkien havaintojen ja tutkimustyön summaaminen opinnäytetyön raportiksi, sekä tarjouspyynnön materiaalipaketiksi. Valitettavasti opinnäytetyön valmistuminen viivästyi 2018 elokuulta syyskuulle opinnäytetyöntekijän muiden työkiireiden johdosta.

7.3 Lopputulokset

Opinnäytetyön lopputuloksena on suunnitelma ja tarjouspyyntömateriaali, jonka avulla Punkasalmen sähköaseman saneerausprojektin aloittaminen ja läpivienti helpottuvat selvästi. Selvitystyön aikana löydettiin saneerausprojektiin monta erilaista seikkaa, jotka olisivat vasta toteutusvaiheessa ilmetessään voineet aiheuttaa kalliita viivästyksiä ja lisätöitä. Nyt kerätyn materiaalin avulla tarjouspyyntö on jo alkuvaiheessa tarkempi, josta on hyötyä niin tulevalle toimittajalle, kuin tilaajallekin.

Työn aikana tehtiin myös huolellista puntarointia erilaisten teknisten ratkaisujen välillä, sekä arvioitiin eri valmistajien laitteistojen sopivuutta käyttötarkoitukseen. Lopputuloksena on lähtölaukaus projektille, jonka toteuttamisen jälkeen Punkasalmen sähköasemaa käyttöikää voidaan jatkaa toisilaitteiden osalta 30 vuotta tulevaisuuteen.

8 LÄHDELUETTELO

- ABB. (2011a). *Document Library*. Haettu 14. 08 2018 osoitteesta VD4 Asennus- ja käyttöohjeet 12 ... 36 kV - 630 ... 3150 A - 16 ... 50 kA: [https://library.e.abb.com/public/3d45fe7be18780c2c1257b1300574722/MA_VD4-36kV-50KA\(FI\)U_647654061-1111.pdf](https://library.e.abb.com/public/3d45fe7be18780c2c1257b1300574722/MA_VD4-36kV-50KA(FI)U_647654061-1111.pdf)
- ABB. (2011b). *Document Library*. Haettu 04. 08 2018 osoitteesta Feeder protection and control REF615 ANSI Product guide: https://library.e.abb.com/public/8b0b2307af790658c1257895003f917f/REF615ANSI_pg_1MAC105361-PG_ENe.pdf
- ABB. (2012). *Feeder Protection and Control REF615 Application Manual*. Vaasa. Haettu 13. 09 2019
- ABB. (2014). *Feeder Protection and Control REF630 Application Manual*. Vaasa.
- ABB. (2018d). *Ultra-Fast Earthing Switch UFES*. Haettu 05. 09 2018 osoitteesta ABB Group: <https://abbcloud.blob.core.windows.net/public/images/a7aa8435-4a92-4665-9cba-cea274cae13a/presentation.jpg>
- ABB. (2018e). Ennakoiva huolto. *SPACOM ja RE500-sarjan suojaus- ja ohjauslaitteet*. Haettu 05. 09 2018 osoitteesta https://library.e.abb.com/public/5b7cce25804645bcb95f38b7d8cc04e2/SPARE_Prev_broch_756559_LRFIId.pdf
- ABB AB. (2016). *Operating Instructions OI/CoreSense-EN Rev E*. Ludvika, Ruotsi: ABB AB. Haettu 05. 09 2018 osoitteesta <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=1LAB000592&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- ABB AG. (2018c). *Ultra-Fast Earthing Switch*. Haettu 29. 08 2018 osoitteesta Document library: <https://search-ext.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=DEABB%204095%20EN&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- ABB Medium Voltage Products, Distribution Automation. (2018b). Substation merging unit SMU615. Jyväskylä: ABB.
- ABB Oy. (1998). Tekninen ohje. *REJ 525 Yhdistetty ylivirta- ja maasulkurele*. Vaasa: Abb Oy.
- ABB Oy. (1999). Tuoteopas. *Kennoterminaali REF541, REF543, REF545*. Vaasa: ABB Oy.
- ABB Oy. (2004). Käyttöohje. *KU 2000 Ohjelmointi*. Vaasa: ABB Oy.
- ABB Oy. (2008). *Document Library*. Haettu 16. 08 2018 osoitteesta Feeder Protection REF615 Product Guide: https://library.e.abb.com/public/9f6dbe2b28870febcb1257b1300568f86/REF615_pg_756379_ENc_.pdf
- ABB Oy. (03. 01 2014). Haettu 06. 08 2018 osoitteesta ABB Suomessa 125 vuotta – juhlavuosi käynnistyi: <http://www.abb.fi/cawp/seitp202/22cde39bccbc967bc1257c540045ced.aspx>
- ABB Oy. (8. 1 2018a). Ennakkoilmoitus. *OSAM-, OSAN- ja OSAO-katkaisijoiden elinkaari muutoksen ennakkoilmoitus(1MRS493757)*. Vaasa: ABB Oy.
- ABB Oy. (2018b). *ABB Suomessa*. Haettu 6. 8 2018 osoitteesta <https://new.abb.com/fi/abb-lyhyesti/suomessa>
- ABB Oy Distribution Solutions. (2018a). Smart substation control and protection SSC600. *MicroSCADA-käyttäjäpäivät*. Jyväskylä: ABB.
- ABB-yhtiöt, S. (2000). *Teknisiä tietoja ja taulukoita*. Vaasa: Ykkös-Offset Oy.
- Arcteq Oy. (03 2013). Haettu 06. 08 2018 osoitteesta Company Profile: <https://arcteq.fi/wp-content/uploads/2013/03/arcteq-company-profile-1.1en.pdf>

- Arcteq Oy. (01. 06 2018). Haettu 06. 08 2018 osoitteesta Arcteq tuplaa tuotantonsa tänä vuonna:
<https://arcteq.fi/arcteq-tuplaa-tuotantonsa-tana-vuonna/>
- Arcteq Relays Ltd. (2017). *INSTRUCTION MANUAL AQ F255 – Feeder Protection IED*. Vaasa.
- Arcteq Relays Ltd. (2018). *INSTRUCTION MANUAL AQ T256, T257, T259 – Two and three winding Transformer Protection IEDs*. Vaasa.
- Arcteq Relays Ltd. Finland. (2012). *INSTRUCTION MANUAL AQ 110 Arc Protection Unit*. Haettu 29. 08 2018 osoitteesta Arcteq: <https://arcteq.fi/wp-content/uploads/2016/11/aq-110-manual-en1.4.pdf>
- Elovaara, J.;& Laiho, Y. (1988). *Sähkölaitostekniikan perusteet*. Hämeenlinna: Otakustantamo.
- Graetz, L. (1922). *Sähkö ja sen käyttö*. (Y. Tuomikoski;V. Airas;S. Latvala;V. Heiskanen;& A. Orava, Käänt.) Porvoo: Werner Söderström Oy.
- Kunsmann, S. (2018). IEC 61850 in Digital Substation and Cyber security. *72nd Annual Georgia Tech Protective Relaying Conference*. ABB GRID AUTOMATION.
- Lakervi, E.;& Partanen, J. (2008). *Sähkönjakelutekniikka*. Helsinki: Otatieto.
- Lindholm, K. (2018). Connected asset lifecycle management for the digital future. *ABB MicroSCADA Users Club*. Jyväskylä: ABB.
- Martti Paavola. (1970). *Sähkölaitosten suojaus*. Porvoo: Werner Söderström Oy.
- Montsinger, V. M. (Huhtikuu 1930). Loading Transformers By Temperature. *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers*, 49(2), 776-790. doi:10.1109/T-AIEE.1930.5055572
- Moxa Inc. (ei pvm). *IEC 61850 Substation Overview*. Haettu 29. 08 2018 osoitteesta Support & Downloads:
https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&ved=2ahUKEwiZh6PyzJLdAhXE2SwKHbGRCsMQFjAEegQICBAC&url=https%3A%2F%2Fwww.moxa.com%2Fdoc%2Fguidebooks%2FIEC_61850_Substation_Overview.pdf&usg=AOvVaw1Vd1U5SqB93t1xPC3sSKWG
- Mörsky, J. (1992). *Relesuojaustekniikka* (Toinen korjattu p.). Otatieto Oy.
- Oy Strömberg Ab. (1980a). Ohjelehti. *Jälleenkytkentärele SPAT 2D200 J3*. Vaasa: Oy Strömberg Ab.
- Oy Strömberg Ab. (1980b). Ohjelehti. *Kolmivaiheinen vakioaika-alijänniterele SPAU 3F100J3*. Vaasa: Oy Strömberg Ab.
- Oy Strömberg Ab. (1981a). Ohjelehti. *Ohjelmoitava, kolmivaiheinen vakioaikaylivirtarele SPAJ 3C5 J3, SPAJ 3C1 J3*. Vaasa: Oy Strömberg Ab.
- Oy Strömberg Ab. (1981b). Ohjelehti. *Maasulun suuntarele SPAS 1B1 J3*. Vaasa: Oy Strömberg Ab.
- Oy Strömberg Ab. (1981c). Ohjelehti. *Vakioaikaylijänniterele SPAU 1G100 J3*. Vaasa: Oy Strömberg Ab.
- Oy Strömberg Ab. (1981d). Ohjelehti. *Vakioaikaylijänniterele SPAU 1K100 J3*. Vaasa: Oy Strömberg Ab.
- Oy Strömberg Ab. (1985). Käsikirja. *OSAM, OSAN ja OSAO katkaisijoiden käsikirja*. Vaasa: Oy Strömberg Ab.
- Oy Strömberg Ab. (1989). Ohjelehti. *Ohjaus- ja mittausyksikkö, SPOC 110 C, SPOC 111 C, SPOC 112 C*. Vaasa: Oy Strömberg Ab.
- Oy Tele-merkki Ab. (1982). Esite. *Hälytyskeskus TIC*. Jokela: Oy Tele-merkki Ab.
- Parikkalan Valo Oy. (2018). *Vuosikertomus 2017*.
- Schneider Electric. (2 2011). *Medium-Voltage Switching Devices Selection List*. Noudettu osoitteesta
http://download.schneider-electric.com/files?p_enDocType=Catalog&p_File_Name=HVX+for+SE+Panel+Catalogue+%26+Selection+List.pdf&p_Doc_Ref=02-2011%20AGSHVX&_ga=2.50491241.1945355664.1533106908-593418310.1531916455
- SFS 6001. (2015). Suurjännitesähköasennukset. Helsinki: SESKO ry.

Siemens AG. (2007). *SIPROTEC Erovirtasuojat 7UT613/63x V4.60 Käyttöohje*. Berliini: Siemens AG.

Vaasa Electronics Oy. (1997). Käyttöohje. *Käyttöohje VAMP-valokaarisuojajärjestelmälle*. Vaasa: Vaasa Electronics Oy.

VAMP Ltd. (ei pvm). User manual. *VAMP 220 / 220R*. Vaasa.

LIITE 1: YLIVIRTA-ASETTELUIDEN VERTAILU

ALKUPERÄISET YLIVIRTA-ASETTELUT

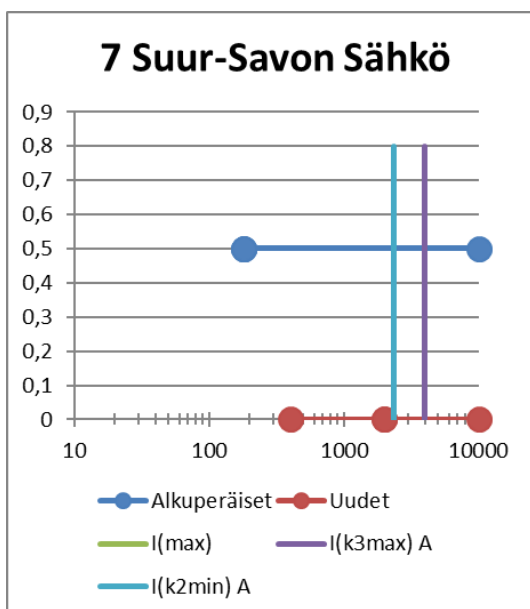
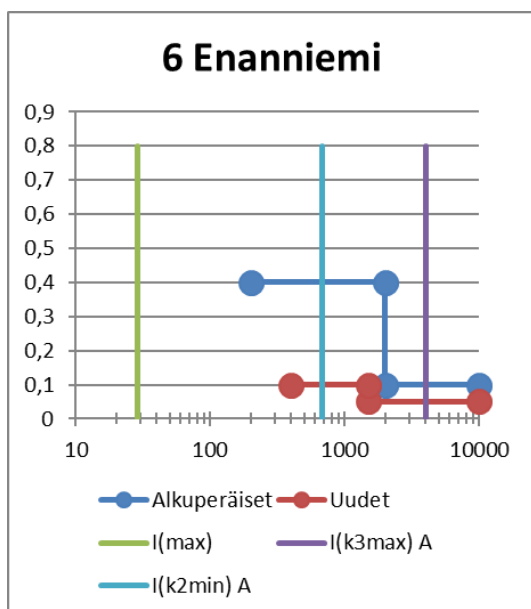
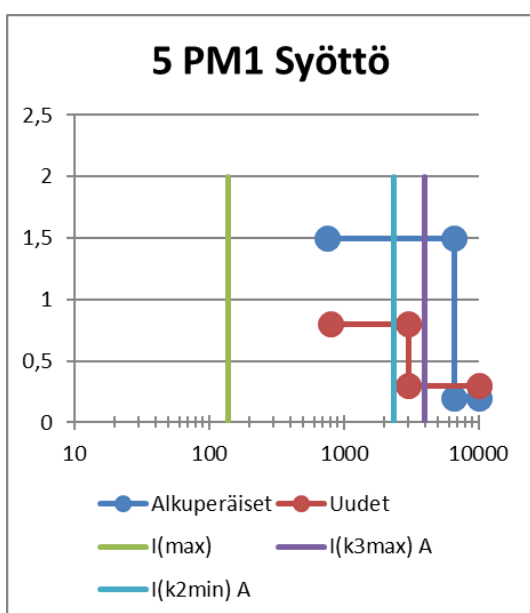
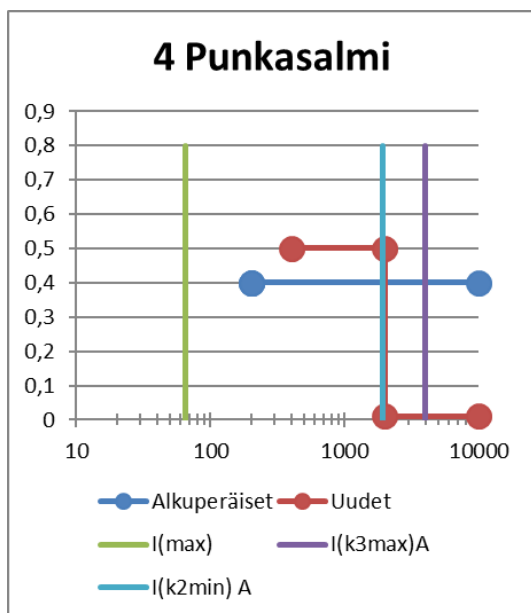
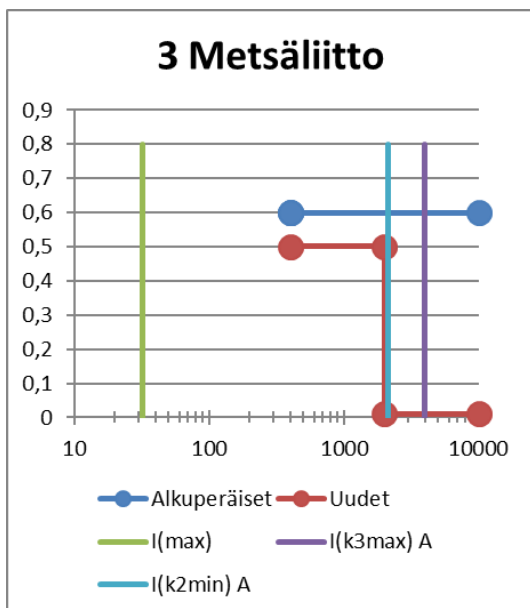
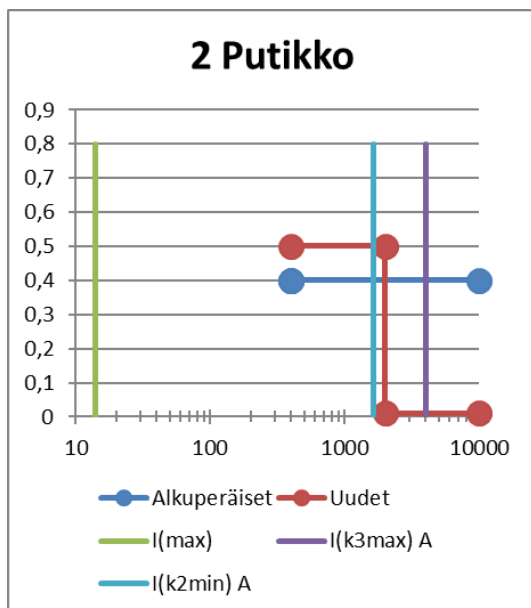
Kenno	Lähtö	Ylivirtarele	Maasulkurele	JK-rele	PHLPTOC		PHHPTOC		Ylivirta	
					3I>		3I>>		PJK	AJK
					virta	aika	virta	aika		
1 MITTAUS										
2 PUTIKKO	REF541B	-	-	-	400	0,4			0,5	45
3 METSÄLIITTO	SPAJ 3C5 J3	SPAS 1F1 J3	SPAT2D22 J3		400	0,6			0,5	60
4 PUNKASALMI	SPAJ 3C5 J3	SPAS 1F1 J3	SPAT2D22 J3		200	0,4			0,5	50
5 PM1/SYÖTTÖ	SPAA 322	-	-		750	1,5	6600	0,2		
6 ENANNIEMI	SPAJ 3C5 J3	SPAS 1F1 J3	SPAT2D22 J3		200	0,4	2000	0,1	0,6	65
8 SUUR-SAVON SÄHKÖ	SPAJ 3C5 J3	SPAS 1F1 J3	-		180	0,5				
12 FINNFOREST	REF541B	-	-		600	0,6				
14 PM2/SYÖTTÖ	REF541C				1500	1,5	4800	0,2		

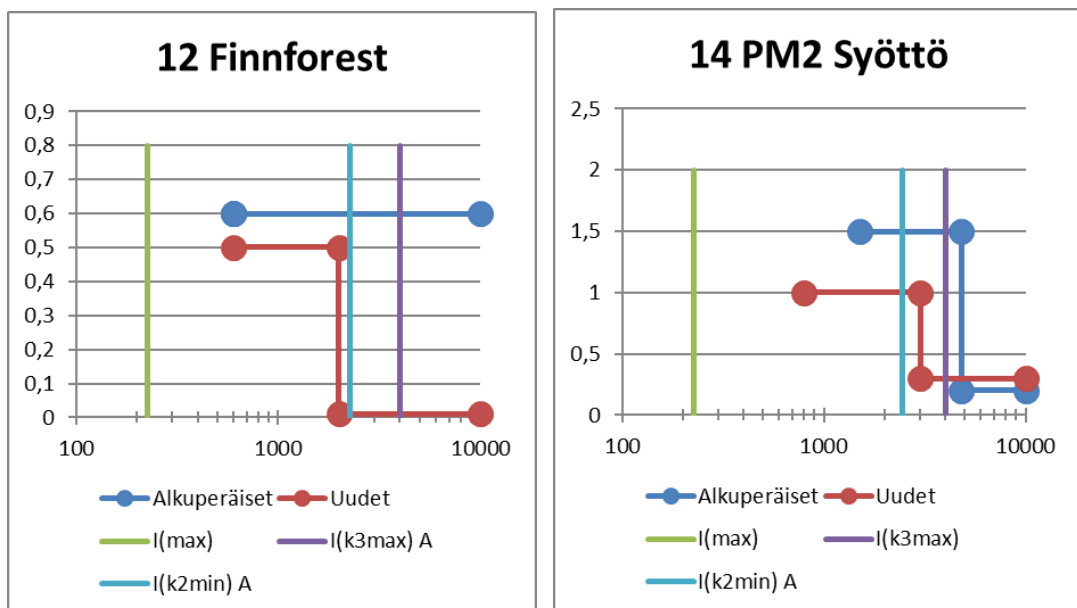
UUDET YLIVIRTA-ASETTELUT

Kenno	Lähtö	Kennoterminaali	PHLPTOC		PHHPTOC		Ylivirta	
			3I>		3I>>		PJK	AJK
			virta	aika	virta	aika		
1 MITTAUS	ABB REF615							
2 PUTIKKO	ABB REF615		400	0,5	2000	0,01	0,3	60
3 METSÄLIITTO	ABB REF615		400	0,5	2000	0,01	0,3	
4 PUNKASALMI	ABB REF615		400	0,5	2000	0,01	0,3	
5 PM1/SYÖTTÖ	ABB REF615		800	0,8	3000	0,3		
6 ENANNIEMI	ABB REF615		200	0,1	1500	0,05	0,3	60
8 SUUR-SAVON SÄHKÖ	ABB REF615							
12 FINNFOREST	ABB REF615		600	0,6	2000	0,01		
14 PM2/SYÖTTÖ	ABB REF615		800	1	3000	0,3		

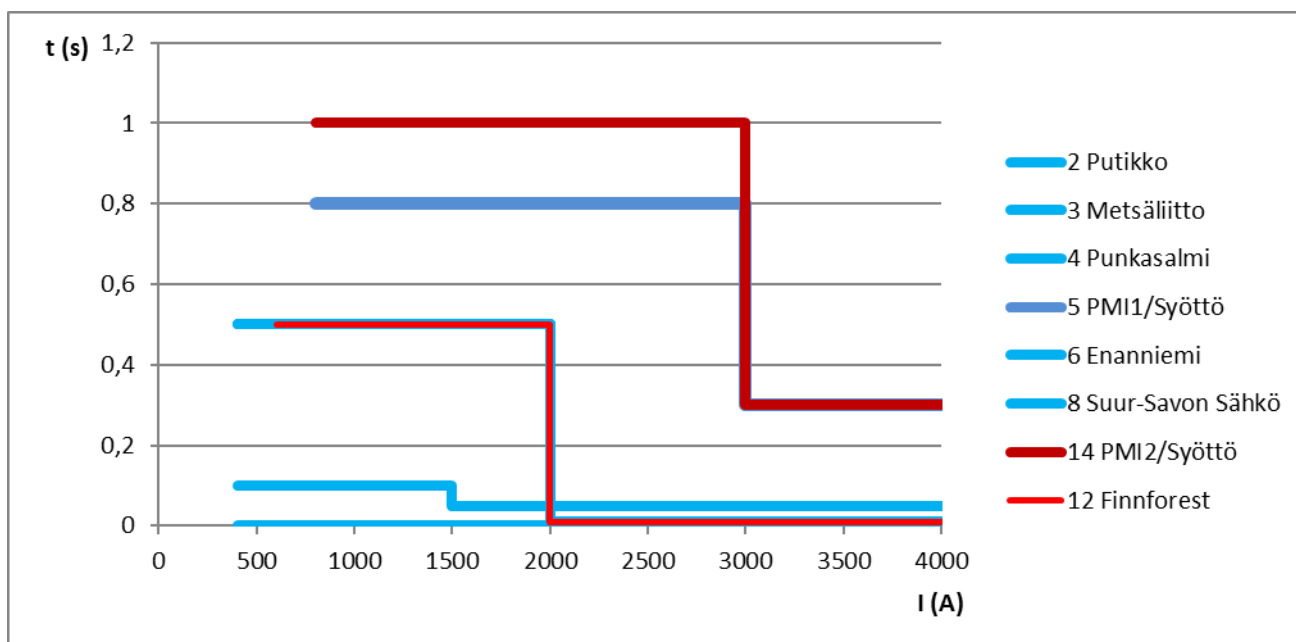
SYÖTTÖJEN JA LÄHTÖJEN YLIVIRTASUOJAUKSEN TOIMINTAKUVAAJAT

Pystyakselilla aika sekunteina ja vaaka-akselilla virta ampeereina logaritmisella asteikolla.





SYÖTTÖJEN JA LÄHTÖJEN SELEKTIIVISYYS



LIITE 2: SUOJARELEIDEN TOIMINTATARKKUUDEN VERTAILU

ABB:n ja Arcteq:n kennoterminaalien vertailu Punkasalmen kannalta oleellisten suojaustoimintojen osalta

Lähtöjen suoja	ABB REF615	Arcteq AQ-F255
Ylivirta (DT) Asetteluarvo Epätarkkuus Viive	0,05-40 x In (0,01 x In) ±1,5 % tai ±10 mA (0,1-10 x Iset) ±5 % (10-40 x Iset) ±1 % tset tai ±20 ms	0,1-40 x In (0,01 x In) ±0,5 % tai ±15 mA (0,1+4xIset) <35 ms (Im/Iset >3) <50 ms (Im/Iset 1-3)
Maasulku (DT) Asetteluarvo (I) Asetteluarvo (U) Epätarkkuus 1A Epätarkkuus U0 Viive	0,01-40 x In (0,005 x In) ±1,5 % tai ±10 mA ±1,5 % tai ±2 mV 1 % tset tai 20 ms	0,005-40 x In (0,001 x In) 1-50 % U0n (0,01 x Un) ±0,5 % tai ±3 mA (0,005+10xIset) ±1 % tai ±30 mV <50 ms (Im/Iset >3) <65 ms (Im/Iset 1-3)
Valokaari Asetteluarvo Epätarkkuus Viive (valo) Viive (valo+virta)	0,5-40 xIn (I) 0,05-8 (I0) (0,01 xIn) ±3 % tai ±50 mA <12 ms <15ms	0,5-40 xIn (I) 0,1-40 (I0) (0,01 xIn) ±3 % HSO 7 ms (3-12 ms), Regular 11 ms (6,5-18 ms) HSO 10 ms (<15 ms), Regular 15 ms (<20 ms)
Häiriötallennin Analogiakanavat Digitaalikanavat Näytteenottotaajuus	12 64 1000 Hz	9 32 3200 Hz

Muuntajasuoja	ABB RET630	Arcteq AQ-T257
Ylivirta (DT) Asetteluarvo Epätarkkuus Viive	0,05-40 x In (0,01 x In) ±1,5 % tai ±10 mA (0,1-10 x Iset) ±1,5 % (10-40 x Iset) <24 ms (PHHPTOC) <38 ms (PHLPTOC)	0,1-40 x In (0,01 x In) ±0,5 % tai ±15 mA (0,1+4xIset) <35 ms (Im/Iset >3) <50 ms (Im/Iset 1-3)
Maasulku (DT) Asetteluarvo Epätarkkuus 1A Viive	0,01-40 x In (0,005 x In) ±1,5 % tai ±2 mA (0,005+10xIset) < 69 ms	0,005-40 x In (0,001 x In) ±0,5 % tai ±3 mA (0,005+10xIset) <45 ms (Im/Iset >3,5) <55 ms (Im/Iset 1-3,5)
Differentiaalis. Epätarkkuus Viive	±1,5 % tai ±10 mA <22 ms (korkea taso) <40ms (matala taso)	±2,5 % tai ±30 mA (0,1+4xIset) <40 ms (>1,05xIset) <30ms (>3xIset)
Ylijännite (DT) Asetteluarvo Epätarkkuus Viive	5-160 %In (0,01 %Un) ±1,5 %Uset tai 2mV <39 ms	50-150 %In (0,01 %Un) ±1,5 %Uset <50 ms
Alijännite (DT) Asetteluarvo Epätarkkuus Viive	5-120 %In (0,01 %Un) ±1,5 %Uset tai 2mV <39ms (UF=2Uset) <44 ms (UF=1,1Uset)	20-120 %In (0,01 %Un) ±1,5 %Uset tai ±30 mV <50 ms

Nollajännite (DT)		
Asetteluarvo	1-100 %I _n (0,01 %U _n)	1-50 %I _{0n} (0,01 %U _n)
Epätarkkuus	±1,5 %U _{set} tai 2mV	±1,5 %U _{0set} tai ±30 mV
Viive	<42 ms	<50 ms
Valokaari	-	
Asetteluarvo	-	0,5-40 xI _n (I) 0,1-40 (I ₀) (0,01 xI _n)
Viive (valo)	-	HSO 7 ms (3-12 ms), Regular 11 ms (6,5+18 ms)
Viive (valo+virta)	-	HSO 10 ms (<15 ms), Regular 15 ms (<20 ms)
Häiriötallennin		
Analogiakanavat	1-10 (40)	9
Digitaalikanavat	64	32
Näytteenottotaajuus	1000 Hz	3200 Hz

Valokaarisuoja	REA 101	AQ110
Viive (HSO)	≤2,5 ms	2 ms
Viive (Norm)	<15 ms	7 ms